

**SKRIPSI**

**PENGUNAAN MEMBRAN MIKROFILTRASI (MF)  
DALAM MENURUNKAN  
KEKERUHAN, NITRAT DAN BAKTERI COLI  
PADA AIR SUNGAI DENGAN  
*PRETREATMENT ROUGHING FILTER ALIRAN UPFLOW***

**Oleh :**

**KETUT PUTRA WIDHIARTA**

**01.26.029**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2006**

LEMBAR PERSETUJUAN

MILIK  
PERPUSTAKAAN  
ITN MALANG

SKRIPSI

**PENGUNAAN MEMBRAN MIKROFILTRASI (MF) DALAM  
MENURUNKAN KEKERUHAN, NITRAT DAN BAKTERI  
COLI PADA AIR SUNGAI DENGAN  
PRETREATMENT ROUGHING FILTER ALIRAN UPFLOW**

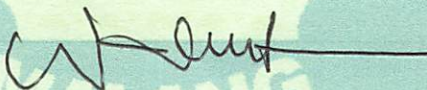
Oleh:

**KETUT PUTRA WIDHIARTA**

**01.26.029**

Menyetujui

Dosen Pembimbing



Prof. Ir. Wahyono Hadi, Msc. Ph.D

NIP. 130806286

Mengetahui

Ketua Jurusan/Prodi Teknik Lingkungan



Sudiro, ST. MT

NIP. Y. 1039900327

**LEMBAR PENGESAHAN**

**SKRIPSI**

**PENGUNAAN MEMBRAN MIKROFILTRASI (MF) DALAM  
MENURUNKAN KEKERUHAN, NITRAT DAN BAKTERI *COLI*  
PADA AIR SUNGAI DENGAN  
*PRETREATMENT ROUGHING FILTER ALIRAN UPFLOW***

Oleh:

**KETUT PUTRA WIDHIARTA**

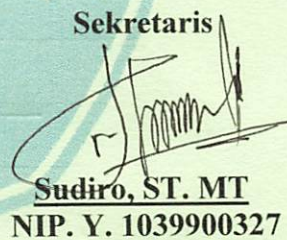
**01.26.029**

Telah dipertahankan dihadapan Dewan Penguji pada Ujian Komprehensif Skripsi Jurusan/Program Studi Teknik Lingkungan Jenjang Strata satu (S-1), dan diterima untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada tanggal 16 September 2006.

Mengetahui

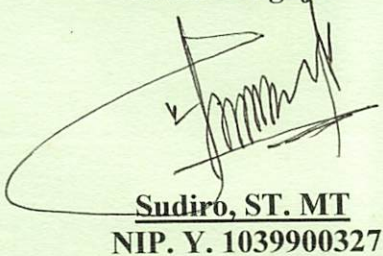
Panitia Ujian Komprehensif Skripsi

 Ketua  
**Ir. Agustina Nurul H., MTP**  
NIP. Y. 103900214

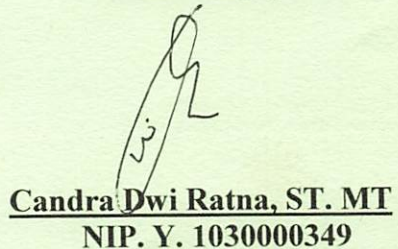
Sekretaris  
  
**Sudiro, ST. MT**  
NIP. Y. 1039900327

Dewan Penguji

Dosen Penguji I

  
**Sudiro, ST. MT**  
NIP. Y. 1039900327

Dosen Penguji II

  
**Candra Dwi Ratna, ST. MT**  
NIP. Y. 1030000349

## Om, Swastiastu...

Angayu bagia (terima kasih) yang tak terhingga kepada *Sang Yang Widi Wasa serta Dewi Saraswati*, atas Asung Kertha Wara Nugrahanya dan ilmu pengetahuan yang telah diturunkan sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini dengan baik dan tepat waktu.



Untuk sebuah nama...Kuluangkan segenap masa...

Kutuangkan sejumlah rasa...Kugengam setitik asa...

Tuk sebuah karya...

Untuk sebuah kehidupan...Kuhaturkan sebuah karya...

Walaupun tiada kutahu seberapa besar makna...

Tidak lupa pula aku ucapkan dan persembahkan karya kecilku ini

Untuk:

Kedua orang tuaku Drs. I Wayan Suartha ♥ Dra. Ni Made Sariathi yang selalu memberikan cinta dan kasih sayang, seluruh doa restu dan motifasinya sehingga akhirnya bisa menyelesaikan skripsi.

☺ Buat kakak\_ku witoe, m'adek n m'mang, matur suksema dukungan dan suportnya serta kiriman tambahannya. Sehingga sibungsu ini semangat dalam menyelesaikan skripsi.

☺ Ponakan" oM... tu-lia, dede, avin, krisna, komang, satu lagi calon ponaan yang bakal lahir teteplah jadi adik-adik yang bandel, btingkah aneh tapi nyenengin....

- ♥ *Astrid\_ku*, atas cinta, sayang dan perhatiannya makasi banget, senyummu adalah semangatku, titip slalu namaku dalam doamu, titip syumku dalam tawamu dan tunggu wd di Bali gek...
- 3 Teman-teman TA'01 *Ikong* (juragan biji kelor), *Taufik* (pimpinan tertinggi *al-qaeda* cabang iTn,,,,,hehee.... Suwun atas ide dan masukan-masukannya tanpa membran yang ditawarkan ga mungkin aku jadi sarjana), *Putu boy* (sms'an trusss ni yeee...), *Manix* (mamaku), *Kucing* (the bes sengap, enjoy *brOw*), *Indra* (sipengusaha tawas), *wawan* (mari kita bersama-sama menyanyikan lagu 'BILA AKU PULANG'....., engken barengan akhirne rage tamat, buwung rage sugih malunan pok!!!!), *ina'k/doro ronda* ( makasi udah jadi teman curhat, walopun sering ta ledekin), *devi* ( makasi udah banyak Bantu bikinin tugas dan segala informasinya dkampus), *maria* dan *eva* (dcari'in ma dtanyain trus ma pak.wah tu, masalah bisnis kata na), *noi n lili rindu* (aits...ga dapet job diAFI karang beralih profesi jadi pengusaha papin dan batako. Bagusssss....) dan *desi nila* ("senyummu tu lo menyakitkan...").
- 3 sObat-sObat '01: gepenk (kpn ke kira2 lulus????), apay ( think kasi smangat buat inzaghi, buruan bikin proposalnya, Membran Booo..), niNie ( makasi udah danterin klo aq g perlu2 sesuatu), popy (jOmbang PK abies!!!!), **genk Erwin** (yudha, nesta, gofur, dodi, bayu, pay gondrong, jaki..maen bola yuk!), **Club ceria** (ajeng, lili, eva, nensi, wulan dan sOrry yang ga ksebut, lam dari tEjo; minta dimandi'in tu...), **salahutu cRew** ( via, wildan, yudis).
- 3 Anak-anak kontrakan Joyo Grand (mang Gun/pak manajer, rAy, arie, toet dina, k-cong, anom, eka muel, yudi'x, lolet), rage mulih malunan nah..

- 3 Ndolelout team, anak-anak Griya Santa, gek tami, anton, kingkong, deden (adik, rengke ajan jak kalsium), alumnus (agung, sanjung, n kiko).
- 3 Teampal-teampal di Bali, dalem, adi, cHimot, B-jo, itha, novi, Charlie, ria (ayo...pesu, mlali, tirta yatra n ngumpul2 nyak...alihin masi rg dw nah!!), Doni, prima n wira (pS"an nyak???)
- 3 tEjo "calm" yang udah memanin tuanmu ini. Ternyata fans mu lebih banyak, hebat dech ngalah-ngalahin popularitas. Ntar lg kt pulang ktanah klahiran...
- 3 dan saudara-saudara serta temen" yang nggak ksebut satu/satu.....

oM, sAnthi, sAnthi, sAnthi.....

---

Putra Widhiarta, Ketut. 2006. *Penggunaan Membran Mikrofiltrasi (MF) Dalam Menurunkan Kekeruhan, Nitrat dan Bakteri Coli Pada Air Sungai Dengan Pretreatment Roughing Filter Aliran Upflow*. Skripsi, Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Nasional Malang. Pembimbing: Prof. Ir. Wahyono Hadi, MSc. PhD.

---

## ABSTRAK

Air merupakan kebutuhan dasar yang sangat penting dan komponen penunjang dalam kehidupan kita sehari-hari. Karena keberadaannya yang sangat penting tersebut, maka berbagai usaha dilakukan untuk memperolehnya dengan memanfaatkan air dari berbagai sumber, yaitu air permukaan (sungai, danau dan lain-lain), air tanah bahkan air hujan. Air sungai biasanya tidak dapat langsung digunakan, karena umumnya kotor dan tercemar. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan air untuk memenuhi syarat sebagai air minum/air bersih. Salah satu teknologi alternatif yang dapat digunakan yaitu teknologi membran mikrofiltrasi yang telah diaplikasikan dalam proses pemurnian air. Namun dalam perkembangannya, pengolahan air sungai menjadi air minum/air bersih terbentur dengan permasalahan umum membran yaitu *fouling*, sehingga memerlukan pengolahan pendahuluan (*pretreatment*) yang berfungsi untuk mengurangi bahan pencemar sebelum masuk keunit pengolahan membran. *Pretreatment* yang digunakan yaitu *roughing filter* aliran *upflow*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan membran mikrofiltrasi dalam menurunkan kekeruhan, nitrat dan bakteri *coli* serta nilai fluks yang dapat dihasilkan pada air sungai setelah diolah pada *roughing filter* aliran *upflow* dengan variasi tekanan: 0,5 bar, 1 bar, 2 bar dan 3 bar. waktu operasi selama 1 jam dengan pengambilan sampel tiap 10 menit dan tebal membran: 1 lembar 0,2  $\mu\text{m}$  dan 3 lembar 0,2  $\mu\text{m}$ .

Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran mikrofiltrasi mampu menurunkan kandungan kekeruhan, nitrat dan bakteri *coli*. Dengan persentase rejeksi kekeruhan sebesar 98,69%, nitrat sebesar 94,81% dan bakteri *coli* sebesar 99,95% yang didapat pada variasi tekanan 3 bar pada menit ke-60 dengan ketebalan 3 lembar 0,2  $\mu\text{m}$ , serta diperoleh nilai fluks sebesar 5665,96 L/m<sup>2</sup>.jam (5,56 m<sup>3</sup>/jam) pada variasi tekanan 3 bar, menit ke-10 dengan ketebalan 3 lembar 0,2  $\mu\text{m}$ . Nilai konsentrasi akhir kekeruhan terendah sebesar 0,67 NTU telah memenuhi standar kualitas air minum, dimana konsentrasi Kekeruhan maksimum yang diperbolehkan adalah 5 NTU (Keputusan Menteri Kesehatan RI No.907/MENKES/SK/VII/2002). Untuk nilai konsentrasi akhir Nitrat (NO<sub>3</sub>) terendah sebesar 0,77 mg/L telah memenuhi standar kualitas air minum, dimana konsentrasi nitrat maksimum yang diperbolehkan adalah 10 mg/L (Keputusan Menteri Kesehatan RI No.907/MENKES/SK/VII/2002). Sedangkan untuk jumlah bakteri *coli* terendah sebesar 1 coli/100ml belum memenuhi standart kualitas air minum, dimana jumlah bakteri *coli* yang diperbolehkan 0 coli/ml. (Keputusan Menteri Kesehatan RI No.907/MENKES/SK/VII/2002).

**Kata kunci:** *Escherichia coli*, Kekeruhan, Membran mikrofiltrasi, Nitrat, *Roughing filter* aliran *upflow*.

---

Putra Widhiarta, Ketut. 2006. *The Use of Microfiltration Membrane (MF) To Reduce Turbidity, Nitrate Content and Coli Bacterium Rate of River Water Through UpFlow Pretreatment Roughing Filter*. Thesis, Environment Engineering Specialty, National Technology Institute of Malang. Supervisor: Prof. Ir. Wahyono Hadi, MSc. PhD.

---

## ABSTRACT

Water constitutes very prominent basic need and supporting component for our daily activity. Regarding to its prominent existence, some consider obtaining the benefit of some sources of water such as surface water (river, lake and other), ground water, or even rainfall. We cannot directly drink the river water because it usually contains of dirt and pollution. Water processing, therefore, must be required to rely on the requirement of drinking water / clean water. One of used alternative technology will be microfiltration membrane technology applied into water purification process. River water processing to produce drinking water/clean water still challenges with general problem of membrane, called as fouling, that demands for pretreatment functioning as reducing pollutant substance before entering into membrane processing unit. The pretreatment used calls for up flow roughing filter.

Research aims at examining the ability of microfiltration membrane to reduce turbidity, nitrate content and *Coli bacterium* rate as well as understanding the flux value produced at water river after processed with up flow roughing filter in the pressure variation: 0.5 bar, 1 bar, 2 bar, 3 bar. Research involves 1 hour operation timing, sample collection for every 10 minutes, and membrane thickness for 0.2  $\mu\text{m}$  of 1 sheet and 0.2  $\mu\text{m}$  of 3 sheets.

Results of research indicate that microfiltration membrane seems capable to reduce turbidity, nitrate content, and *Coli bacterium* rate. Turbidity rejection percentage reaches about 98,69 %, while nitrate content attains for 94.81 % and coli bacterium rate for 99.95 %. All these figures develop from 3 bar pressure variation at 60<sup>th</sup> minute in 0,2  $\mu\text{m}$  of 3 sheets thickness. The flux obtained achieves for 5665.96 L/m<sup>2</sup> hour (5.56 m/hour) in 3 bar pressure variation, 10<sup>th</sup> minute in 0,2  $\mu\text{m}$  of 3 sheets thickness. The lowest of final concentration value of turbidity for 0.67 NTU appears complying with drinking water quality standard, where expected maximum turbidity concentration calls for 5 NTU (Indonesian Republic Health Minister Decree No. 907/MENKES/SK/VII/2002). The final concentration value of nitrate content for 0.77 mg/l also achieves for drinking water quality standard, where expected maximum nitrate content concentration requires for 10 mg/l (Indonesian Republic Health Minister Decree No. 907/MENKES/SK/VII/2002). The lowest *Coli bacterium* rate of 1 *Coli* /100 ml remains far from drinking water quality standard, where permitted *Coli bacterium* rate demands for 0 coli/ml (Indonesian Republic Health Minister Decree No. 907/MENKES/SK/VII/2002).

**Keywords:** *Escherichia coli*, Turbidity, Microfiltration Membrane, Nitrate, Up Flow Roughing Filter.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran IDA SANG HYANG WIDHI WASA yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul ***“Penggunaan Membran Mikrofiltrasi (MF) Dalam menurunkan Kekeruhan, Nitrat dan Bakteri Coli Pada Air Sungai Dengan Pretreatment Roughing Filter Aliran Upflow”*** ini tepat pada waktunya.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana Strata Satu (S1) di Institut Teknologi Nasional Malang Jurusan Teknik Lingkungan.

Dalam kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Bapak Sudiro, ST. MT, selaku Dosen Penguji I dan Ketua Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang.
2. Bapak Prof.Ir.Wahyono Hadi, MSc. Ph.D, selaku dosen pembimbing.
3. Ibu Candra Dwiratna, ST. MT, selaku Dosen Penguji II dan Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang.
4. Ibu Anis Artiyani, ST, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang.
5. Dosen-dosen pengajar dan staf Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang.
6. Teman-teman Teknik Lingkungan Angkatan '01 dan semua pihak yang telah membantu dan memberi dukungan dalam penyusunan laporan skripsi ini.

Kesadaran akan masih banyaknya kekurangan yang ada pada laporan skripsi ini, membuat penyusun berharap akan adanya masukan dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi yang kami susun.

Akhirnya penyusun berharap Laporan Skripsi ini dapat bermanfaat bagi almamater, khususnya para rekan-rekan mahasiswa Teknik Lingkungan ITN Malang dan masyarakat luas pada umumnya.

Malang, September 2006

Penyusun

## DAFTAR ISI

|                       |      |
|-----------------------|------|
| LEMBAR PERSETUJUAN    |      |
| LEMBAR PENGESAHAN     |      |
| LEMBAR PERSEMBAHAN    |      |
| ABSTRAKSI.....        | i    |
| ABSTRACT .....        | ii   |
| KATA PENGANTAR .....  | iii  |
| DAFTAR ISI .....      | iv   |
| DAFTAR TABEL.....     | viii |
| DAFTAR GAMBAR .....   | x    |
| DAFTAR LAMPIRAN ..... | xiii |

### BAB I. PENDAHULUAN

|                            |   |
|----------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang .....   | 1 |
| 1.2 Permasalahan.....      | 2 |
| 1.3 Rumusan Masalah .....  | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.5 Ruang Lingkup .....    | 3 |

### BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 Sumber Air Minum .....                                    | 5  |
| 2.2 Air Sungai .....                                          | 7  |
| 2.3 Kualitas Air .....                                        | 8  |
| 2.4 Pengertian Filtrasi .....                                 | 9  |
| 2.5 Jenis-jenis Filter .....                                  | 9  |
| 2.5.1 Berdasarkan Kecepatan Aliran.....                       | 9  |
| 2.5.2 Berdasarkan arah alirannya .....                        | 10 |
| 2.5.3 Berdasarkan Tekanan Yang Bekerja Pada Media .....       | 10 |
| 2.5.4 Penyaringan Langsung ( <i>Direct Filtrasion</i> ) ..... | 11 |
| 2.6 <i>Roughing Filter</i> .....                              | 11 |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 2.6.1 <i>Roughing Filter</i> Aliran Vertikal .....              | 12 |
| 2.7 Hidrolika Filtrasi .....                                    | 12 |
| 2.8 Jenis Media.....                                            | 14 |
| 2.8.1 Bentuk Butiran dan Variasi Bentuk .....                   | 14 |
| 2.8.2 Batu Kapur .....                                          | 15 |
| 2.8.3 Batu Kerikil.....                                         | 16 |
| 2.9 Definisi Membran .....                                      | 17 |
| 2.10 Klasifikasi Membran .....                                  | 17 |
| 2.10.1 Klasifikasi Berdasarkan Material Membran .....           | 17 |
| 2.10.2 Klasifikasi Berdasarkan Konfigurasi Membran.....         | 19 |
| 2.10.3 Klasifikasi Berdasarkan Mekanisme Pemisahan .....        | 22 |
| 2.10.4 Klasifikasi Berdasarkan Ukuran Pori Membran .....        | 22 |
| 2.11 Peristiwa <i>Fouling</i> dan Polarisasi Pada Membran ..... | 24 |
| 2.12 Proses Dalam Operasi Membran.....                          | 28 |
| 2.12.1 Permeabilitas .....                                      | 29 |
| 2.12.2 Perselektivitas.....                                     | 29 |
| 2.13 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Kinerja Membran.....       | 31 |
| 2.13.1 Karakteristik Membran .....                              | 32 |
| 2.13.2 Tekanan Operasi.....                                     | 32 |
| 2.13.3 pH .....                                                 | 32 |
| 2.13.4 Konsentrasi Umpan ( <i>feed</i> ).....                   | 32 |
| 2.13.5 Temperatur Operasi.....                                  | 33 |
| 2.13.6 Suspended Solid dan Molekul Organik.....                 | 33 |
| 2.13.7 Periode Operasi .....                                    | 33 |
| 2.13.8 Bentuk Kontaminan.....                                   | 34 |
| 2.14 Kekeruhan .....                                            | 34 |
| 2.14 Nitrat (NO <sub>3</sub> ).....                             | 34 |
| 2.16 Bakteri <i>Coli</i> .....                                  | 35 |
| 2.17 Metoda Pengolahan Data .....                               | 36 |
| 2.17.1 Statistik Deskriptif.....                                | 37 |
| 2.17.2 Statistik Inferensi.....                                 | 39 |
| 2.17.3 Generalisasi dan Kesimpulan Analisis Data .....          | 42 |

### **BAB III. METODOLOGI PENELITIAN**

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....             | 43 |
| 3.2 Alat dan Bahan .....                          | 43 |
| 3.2.1 Alat-alat Penelitian .....                  | 43 |
| 3.2.2 <i>Reaktor Roughing Filter Upflow</i> ..... | 43 |
| 3.2.3 Reaktor Membran .....                       | 44 |
| 3.2.4 Bahan Penelitian .....                      | 45 |
| 3.3 Variabel Penelitian .....                     | 45 |
| 3.4 Tahapan Penelitian .....                      | 46 |
| 3.4.1 Persiapan Media Penelitian .....            | 46 |
| 3.4.2 Pengoperasian Alat .....                    | 46 |
| 3.5 Analisa Parameter Uji .....                   | 47 |
| 3.5.1 Pengukuran Fluks .....                      | 47 |
| 3.5.2 Analisa Kekeruhan .....                     | 48 |
| 3.5.3 Analisa Nitrat .....                        | 48 |
| 3.5.4 Analisa Bakteri <i>Coli</i> .....           | 48 |
| 3.6 Analisa Data .....                            | 49 |
| 3.7 Kerangka Penelitian .....                     | 50 |

### **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 4.1 Karakteristik Air sungai .....                      | 52 |
| 4.2 Pengolahan Pendahuluan Air Baku .....               | 52 |
| 4.2.1 <i>Roughing Filter</i> Aliran <i>Upflow</i> ..... | 52 |
| 4.3 Pengolahan Pada Membran Mikrofiltrasi (MF) .....    | 53 |
| 4.4 Analisa Fluks Pada Membran Mikrofiltrasi .....      | 59 |
| 4.4.1 Analisa Deskriptif .....                          | 59 |
| 4.4.2 Analisa ANOVA .....                               | 60 |
| 4.4.3 Analisa Korelasi .....                            | 62 |
| 4.4.4 Analisa Regresi .....                             | 65 |
| 4.5 Pembahasan Fluks Pada Membran Mikrofiltrasi .....   | 68 |
| 4.6 Analisa Penurunan Kekeruhan .....                   | 72 |
| 4.6.1 Analisa Deskriptif .....                          | 72 |

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| 4.6.2 Analisa ANOVA .....                           | 76  |
| 4.6.3 Analisa Korelasi .....                        | 78  |
| 4.6.4 Analisa Regresi .....                         | 80  |
| 4.7 Pembahasan Konsentrasi Kekeruhan .....          | 83  |
| 4.8 Analisa Penurunan Nitrat .....                  | 86  |
| 4.8.1 Analisa Deskriptif .....                      | 86  |
| 4.8.2 Analisa ANOVA .....                           | 90  |
| 4.8.3 Analisa Korelasi .....                        | 91  |
| 4.8.4 Analisa Regresi .....                         | 94  |
| 4.9 Pembahasan Konsentarsi Nitrat .....             | 97  |
| 4.10 Analisa Penurunan Bakteri <i>Coli</i> .....    | 100 |
| 4.10.1 Analisa Deskriptif .....                     | 100 |
| 4.10.2 Analisa ANOVA .....                          | 104 |
| 4.10.3 Analisa Korelasi .....                       | 105 |
| 4.10.4 Analisa Regresi .....                        | 108 |
| 4.10 Pembahasan Penurunan Bakteri <i>Coli</i> ..... | 111 |

## **BAB V. PENUTUP**

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 5.1 Kesimpulan..... | 114 |
| 5.2 Saran.....      | 114 |

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

|            |                                                                                                                         |    |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1  | Nilai Faktor Kebulatan, Faktor Bentuk dan Porositas Berdasarkan gambaran bentuk butiran .....                           | 15 |
| Tabel 2.2  | Golongan Butiran-Butiran Batuan Sedimen .....                                                                           | 16 |
| Tabel 2.3  | Penggunaan Membran Berdasarkan Ukuran Pori .....                                                                        | 24 |
| Tabel 2.4  | Ukuran bakteri.....                                                                                                     | 36 |
| Tabel 2.5  | Koefisien Korelasi <i>Guilford</i> .....                                                                                | 40 |
| Tabel 4.1  | Karakteristik Air Sungai.....                                                                                           | 52 |
| Tabel 4.2  | Data Effluent dan % Penyisihan RF.....                                                                                  | 53 |
| Tabel 4.3  | Hasil Perhitungan Fluks Membran.....                                                                                    | 54 |
| Tabel 4.4  | Nilai Konsentrasi Kekeruhan Setelah Proses Membran .....                                                                | 56 |
| Tabel 4.5  | Nilai Konsentrasi Nitrat Setelah Proses Membran.....                                                                    | 57 |
| Tabel 4.6  | Jumlah <i>E. Coli</i> akhir Setelah Proses Membran.....                                                                 | 58 |
| Tabel 4.7  | Hasil Uji Kesamaan Variasi Fluks .....                                                                                  | 61 |
| Tabel 4.8  | Hasil Uji ANOVA Nilai Fluks.....                                                                                        | 62 |
| Tabel 4.9  | Korelasi antara Nilai Fluks Dengan Tekanan, Waktu Operasi dan Ketebalan Membran .....                                   | 63 |
| Tabel 4.10 | Koefisien Persamaan Regresi Nilai Fluks.....                                                                            | 65 |
| Tabel 4.11 | Hasil Uji Kelinearan Analisa Regresi Nilai Fluks .....                                                                  | 67 |
| Tabel 4.12 | Nilai Persentase Rejeksi (%R) Konsentrasi Kekeruhan.....                                                                | 74 |
| Tabel 4.13 | Hasil Uji Kesamaan Variasi Konsentrasi Kekeruhan.....                                                                   | 76 |
| Tabel 4.14 | Hasil Uji ANOVA Persentase Rejeksi (%) Konsentrasi Kekeruhan .....                                                      | 77 |
| Tabel 4.15 | Korelasi antara Persentase Rejeksi (%R) Konsentrasi Kekeruhan Dengan Tekanan, Waktu Operasi dan Ketebalan Membran ..... | 78 |
| Tabel 4.16 | Koefisien Persamaan Regresi Persentase Rejeksi (%R) Konsentrasi Kekeruhan .....                                         | 80 |
| Tabel 4.17 | Hasil Uji Kelinearan Analisa Regresi Persentase Rejeksi (%R) Konsentrasi Kekeruhan .....                                | 83 |
| Tabel 4.18 | Nilai Persentase Rejeksi (%R) Konsentrasi Nitrat.....                                                                   | 88 |
| Tabel 4.19 | Hasil Uji Kesamaan Variasi Konsentrasi Nitrat.....                                                                      | 90 |

|                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 4.20 Hasil Uji ANOVA Persentase Rejeksi (%R) Kosentrasi Nitrat .....                                                  | 91  |
| Tabel 4.21 Korelasi antara Persentase Rejeksi (%R) Kosentrasi Nitrat, Tekanan,<br>Waktu Operasi dan Ketebalan Membran ..... | 92  |
| Tabel 4.22 Koefisien Persamaan Regresi Persentase Rejeksi (%R) Konsentrasi<br>Nitrat.....                                   | 94  |
| Tabel 4.23 Hasil Uji Kelinearan Analisa Regresi Persentase Rejeksi (%R)<br>Konsentrasi Nitrat .....                         | 96  |
| Tabel 4.24 Nilai Persentase Rejeksi (%R) <i>E. Coli</i> .....                                                               | 102 |
| Tabel 4.25 Hasil Uji Kesamaan Variasi <i>E. Coli</i> .....                                                                  | 104 |
| Tabel 4.26 Hasil Uji ANOVA Persentase Rejeksi (%R) <i>E. Coli</i> .....                                                     | 105 |
| Tabel 4.27 Korelasi antara Persentase Rejeksi (%R) <i>E. Coli</i> , Tekanan, Waktu<br>Operasi dan Ketebalan Membran .....   | 106 |
| Tabel 4.28 Koefisien Persamaan Regresi Persentase Rejeksi (%R) <i>E. Coli</i> .....                                         | 108 |
| Tabel 4.29 Hasil Uji Kelinearan Analisa Regresi Persentase (%R) <i>E. Coli</i> .....                                        | 110 |

## DAFTAR GAMBAR

|             |                                                                                                                                   |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1  | Gambar Kebulatan dan Faktor Bentuk Dari Butiran dan Porositas<br>Schubungan Dengan Tingkat Lapisan Dalam Filter Cepat .....       | 15 |
| Gambar 2.2  | Bentuk membran <i>Flat Sheet</i> .....                                                                                            | 20 |
| Gambar 2.3  | Modul Membran <i>Hollow Fiber</i> .....                                                                                           | 20 |
| Gambar 2.4  | Modul Membran <i>Spiral Wound</i> .....                                                                                           | 21 |
| Gambar 2.5  | Modul Membran <i>Tubular</i> .....                                                                                                | 21 |
| Gambar 2.6  | Spektrum Filtrasi .....                                                                                                           | 22 |
| Gambar 2.7  | Mekanisme Bloking Pada Pori Membran .....                                                                                         | 26 |
| Gambar 2.8  | Resistensi Membran Terhadap Transport Massa Pada Membran<br>Berpori.....                                                          | 28 |
| Gambar 2.9  | Sistem Aliran <i>Dead-and</i> dan <i>Cross-flow</i> .....                                                                         | 31 |
| Gambar 2.10 | Gambar Diagram Kontrol <i>Shewhart</i> .....                                                                                      | 38 |
| Gambar 3.1  | Kerangka Penelitian .....                                                                                                         | 50 |
| Gambar 4.1  | Grafik Hubungan Antara Fluks dan Waktu Operasi Membran Pada<br>Berbagai Tekanan Dengan Ketebalan 1 lembar 0,2 $\mu\text{m}$ ..... | 59 |
| Gambar 4.2  | Grafik Hubungan Antara Fluks dan Waktu Operasi Membran Pada<br>Berbagai Tekanan Dengan Ketebalan 3 lembar 0,2 $\mu\text{m}$ ..... | 60 |
| Gambar 4.3  | Grafik Penurunan Konsentrasi Kekeruhan Pada Ketebalan 1 Lembar<br>0,2 $\mu\text{m}$ .....                                         | 72 |
| Gambar 4.4  | Grafik Penurunan Konsentrasi Kekeruhan Pada Ketebalan 3 Lembar<br>0,2 $\mu\text{m}$ .....                                         | 72 |
| Gambar 4.5  | Grafik Persentase Rejeksi (%R) Kekeruhan Pada Ketebalan 1<br>Lembar 0,2 $\mu\text{m}$ .....                                       | 75 |
| Gambar 4.6  | Grafik Persentase Rejeksi (%R) Kekeruhan Pada Ketebalan 3<br>Lembar 0,2 $\mu\text{m}$ .....                                       | 75 |
| Gambar 4.7  | Grafik Penurunan Konsentrasi Nitrat Pada Ketebalan 1 Lembar 0,2<br>$\mu\text{m}$ .....                                            | 86 |
| Gambar 4.8  | Grafik Penurunan Konsentrasi Nitrat Pada Ketebalan 3 Lembar 0,2<br>$\mu\text{m}$ .....                                            | 86 |

Gambar 4.9 Grafik Persentase Rejeksi (%R) Nitrat Pada Ketebalan 1 Lembar 0,2  
 μm..... 89

Gambar 4.10Grafik Persentase Rejeksi (%R) Nitrat Pada Ketebalan 3 Lembar 0,2  
 μm..... 89

Gambar 4.11 Grafik Penurunan Jumlah *E. Coli* Pada Ketebalan 1 Lembar 0,2 μm... 100

Gambar 4.12 Grafik Penurunan Jumlah *E. Coli* Pada Ketebalan 3 Lembar 0,2 μm... 100

Gambar 4.13Grafik Persentase Rejeksi (%R) *E. Coli* Pada Ketebalan 1 Lembar  
 0,2 μm..... 103

Gambar 4.14 Grafik Persentase Rejeksi (%R) *E. Coli* Pada Ketebalan 3 Lembar  
 0,2 μm..... 103

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Desain Alat *Rounging Filter* dan Membran
- Lampiran 2 Cara Kerja Analisa Parameter Uji
- Lampiran 3 Data Hasil Analisa Parameter Uji
- Lampiran 4 Data Analisa Statistik
- Lampiran 5 Tabel F dan Tabel T
- Lampiran 6 Contoh Perhitungan
- Lampiran 7 Dokumentasi Penelitian

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan dasar yang sangat penting dan komponen penunjang dalam kehidupan kita sehari-hari. Karena keberadaannya yang sangat penting tersebut, maka berbagai usaha dilakukan untuk memperolehnya dengan memanfaatkan air dari berbagai sumber, yaitu air permukaan (sungai, danau dan lain-lain), air tanah bahkan air hujan.

Air murni adalah zat cair yang tidak mempunyai rasa, bau dan warna yang terdiri dari hidrogen dan oksigen dengan rumus kimiawi  $H_2O$ . Ciri-ciri fisik yang utama dari air adalah bahan padat keseluruhan yang terapung dan yang terlarut, kekeruhan, warna, rasa, bau dan suhu. Sebagian besar air baku untuk penyediaan air bersih berasal dari air sungai. Air sungai biasanya tidak dapat langsung digunakan, karena umumnya kotor dan tercemar. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan air untuk memenuhi syarat sebagai air minum/air bersih. Beberapa pilihan yang ada untuk menghilangkan bahan organik dari air sungai sampai saat ini pengolahan yang mungkin terdiri dari adsorpsi, oksidasi atau kombinasi kedua proses tersebut. Pengolahan konvensional hanya menghilangkan sedikit pestisida terlarut dan dengan keberhasilan yang terbatas.

Kriteria penilaian untuk mutu air minum/bersih adalah berdasarkan uji fisika, kimia, cemaran logam dan bakteri *Escherichia coli*. Pada parameter fisik, kekeruhan pada air sungai dapat mengurangi kejernihan air dan diakibatkan oleh pencemar-pencemar yang terbagi halus dari manapun asalnya, yang ada di dalam air. Untuk parameter kimia, kandungan nitrat yang berlebihan dapat menyebabkan gangguan pada kesehatan, sedangkan parameter bakteri bentuk *Escherichia coli* mempunyai penilaian terbesar, karena parameter ini dianggap penting. Air yang baik untuk diminum tidak boleh mengandung lebih dari 300 ppm bahan terlarut (Ferdiaz.D dalam Nasrul, 2002).

Salah satu proses pengolahan untuk mengolah dan menyediakan air minum/air bersih dengan air baku yang berasal dari air sungai adalah dengan

menggunakan membran, yaitu jenis mikrofiltrasi. Mikrofiltrasi merupakan proses pemisahan dengan menggunakan membran yang bersifat semipermeabel, terjadi perpindahan materi secara selektif yang disebabkan oleh gaya dorong, seperti perbedaan potensial listrik, potensial kimia dan tekanan. Teknologi membran mikrofiltrasi dengan bahan selulosa nitrat ini mampu menyaring dan menghilangkan berbagai zat terlarut dengan berat molekul tinggi, aneka koloid, mikroba sampai padatan tersuspensi dari fluida (air baku) (C.J.Geankoplis, 1995).

Namun dalam perkembangannya, pengolahan air sungai menjadi air minum/air bersih terbentur dengan permasalahan umum membran yaitu *fouling* yang menyebabkan penurunan kinerja proses sehingga memerlukan suatu pengolahan awal (*pretreatment*). *Roughing filter* aliran *upflow* diharapkan dapat menjadi *pretreatment* yang tepat dalam menunjang kinerja membran dalam mengurangi *fouling*. *Roughing filter* merupakan salah satu jenis pengolahan pendahuluan yang paling umum dipakai untuk penyediaan air minum, karena dapat memisahkan atau mereduksi zat-zat tersuspensi dan koloid yang ada dalam air sebesar 35-80% dan mempunyai kapasitas penyimpanan endapan yang besar karena rongga pori relatif lebih besar (Jayalath and Padmasiri, 1996).

## 1.2. Permasalahan

Kualitas air sungai yang rendah akibat tercemar oleh limbah industri, rumah tangga dan lain-lain serta permasalahan bahwa kita tidak hanya membutuhkan air bersih tetapi juga menghendaki air dengan kualitas, kuantitas dan kontinuitas yang lebih baik. Maka, diperlukan suatu sistem pengolahan yang dapat menghilangkan kandungan fisik, kimia dan bakteri. Salah satu teknologi alternatif yang dapat digunakan yaitu teknologi membran mikrofiltrasi yang telah diaplikasikan dalam proses pemurnian air.

Teknologi membran dalam aplikasinya untuk pengolahan air, tidak membutuhkan penambahan bahan-bahan kimia (koagulan, flokulan) sehingga merupakan teknologi bersih yang ramah lingkungan. Kinerja membran tidak dapat optimal jika bekerja sendiri, sehingga memerlukan pengolahan pendahuluan (*pretreatment*) yang berfungsi untuk mengurangi bahan pencemar sebelum masuk keunit pengolahan membran. *Pretreatment* yang digunakan yaitu *roughing filter*

aliran *upflow* yang dapat memisahkan atau mereduksi zat-zat tersuspensi dan koloid.

### 1.3. Rumusan Masalah

1. Sejauh mana membran mikrofiltrasi mampu menghilangkan kekeruhan, nitrat dan bakteri *Escherichia coli* pada air sungai setelah diolah pada *roughing filter* aliran *upflow*?
2. Seberapa besar fluks (debit) yang dihasilkan dalam penggunaan membran serta pengaruhnya terhadap efisiensi rejeksinya?
3. Bagaimana pengaruh variasi tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran terhadap persentase rejeksi (%R) dan fluks?

### 1.4. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kemampuan dari membran mikrofiltrasi dengan *pretreatment roughing filter* aliran *upflow* dalam menurunkan kekeruhan, nitrat dan bakteri *Escherichia coli* berupa efisiensi rejeksinya.
2. Mengetahui fluks (debit) air yang dapat tersaring per luas permukaan membran dalam waktu tertentu serta pengaruhnya terhadap efisiensi rejeksinya.
3. Mengetahui pengaruh variasi tekanan pompa, waktu operasi dan tebal membran terhadap persentase rejeksi (%R) dan fluks yang dihasilkan.

### 1.5. Ruang Lingkup

1. Pelaksanaan penelitian dilaksanakan dalam skala laboratorium.
2. Sampel air yang digunakan yaitu sampel asli yang berasal dari aliran air sungai Brantas dengan titik pengambilan sampel di daerah Oro-oro dowo, Malang.
3. Proses yang digunakan untuk analisa adalah proses kontinyu.
4. Parameter yang dianalisa adalah kekeruhan, nitrat dan bakteri *Escherichia coli*.

5. Membran yang digunakan adalah membran mikrofiltrasi dengan material berupa polimer selulosa nitrat.
6. *Pretreatment* dengan *roughing filter* aliran *upflow*.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Sumber Air Minum**

Secara garis besar sumber air minum di muka bumi ini berasal dari beberapa sumber mata air, yaitu ( *Sutrisno, 2002*) :

##### **1. Air Laut**

Air laut merupakan bagian terbesar dari muka bumi, sebagai terminal dari sungai dan memiliki kadar garam yang tinggi dibandingkan dengan air daratan serta sifatnya asin karena mengandung garam NaCl. Kadar garam NaCl dalam air laut 3%. Dengan keadaan ini, maka air laut tidak memenuhi syarat untuk air minum.

##### **2. Air Hujan**

Uap air di udara mengalami titik kondensasi yang kemudian menjadi titik jenuh sehingga terjadi hujan yang berupa cairan atau dapat pula menjadi salju atau es. Air hujan mempunyai sifat agresif terutama terhadap pipa-pipa penyalur maupun bak-bak *reservoir*, sehingga hal ini akan mempercepat terjadinya korosi (karatan). Disamping itu air hujan juga mempunyai sifat lunak, sehingga akan boros terhadap pemakaian sabun.

Untuk memanfaatkan air hujan sebagai sumber air minum sebaiknya waktu menampung air hujan setelah beberapa lama hujan turun, bukan dimulai pada saat hujan mulai turun. Karena masih mengandung banyak kotoran yang berasal dari pencemaran udara oleh kotoran-kotoran industri, debu dan lain sebagainya.

##### **3. Air Permukaan**

Merupakan air hujan yang mengalir di permukaan bumi. Pada umumnya air permukaan ini akan mendapat pengotoran selama pengalirannya, misalnya oleh lumpur, batang-batang kayu, daun-daun, kotoran industri, kota dan lain sebagainya. Beberapa pengotoran ini, untuk masing-masing air permukaan akan berbeda-beda, tergantung pada daerah pengaliran air permukaan ini.

Jenis pengotorannya dapat dilihat dari ciri fisik, kimia dan bakteriologi. Air permukaan dibedakan menjadi 2 macam, yaitu :

a. Air Sungai

Dalam penggunaannya sebagai air minum, haruslah mengalami suatu pengolahan yang sempurna, mengingat bahwa air sungai ini pada umumnya mempunyai derajat pengotoran yang tinggi sekali. Debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan akan air minum pada umumnya dapat mencukupi.

b. Air Rawa

Air rawa kebanyakan berwarna yang disebabkan oleh adanya zat-zat organik yang telah membusuk, misalnya asam humus yang larut dalam air yang menyebabkan warna kuning coklat. Dengan adanya pembusukan kadar zat organik tinggi, maka umumnya kadar Fe dan Mn akan tinggi pula dan dalam keadaan kelarutan  $O_2$  kurang sekali (*anaerob*), maka unsur-unsur Fe dan Mn ini akan larut. Pada permukaan air akan tumbuh *algae* (lumut) karena adanya sinar matahari dan  $O_2$ .

4. Air Tanah

Pada umumnya kualitas pada air tanah cukup baik (tergantung pada lapisan keadaan tanah) dan sedikit dipengaruhi oleh perubahan musim. Air tanah dapat dibedakan menjadi 3 yaitu :

a. Air Tanah Dangkal

Terjadi karena daya proses peresapan air dari permukaan tanah. Lumpur akan tertahan, demikian pula dengan sebagian bakteri, sehingga air tanah akan jernih tetapi lebih banyak mengandung zat kimia (garam-garam terlarut) karena melalui lapisan tanah yang mempunyai unsur-unsur kimia tertentu.

b. Air Tanah Dalam

Air tanah dalam terdapat setelah lapisan rapat air yang pertama. Kualitas air tanah dalam pada umumnya, lebih baik dari air tanah dangkal, karena penyaringannya lebih sempurna dan bakteri lebih berkurang. Kualitas air tanah pada umumnya mencukupi dan sedikit dipengaruhi oleh musim.

c. Mata Air

Mata air adalah air tanah yang keluar dengan sendirinya ke permukaan tanah, mata air hampir tidak dipengaruhi oleh musim. Kualitas dan kuantitasnya sama dengan keadaan air dalam. Berdasarkan keluarnya (munculnya air ke permukaan tanah) terbagi atas :

1. Rembesan, dimana air keluar dari lereng-lereng.
2. Umbul, dimana air keluar ke permukaan pada suatu dataran.

## 2.2. Air Sungai

Sebagian besar air hujan yang turun ke permukaan tanah, mengalir ke tempat-tempat yang lebih rendah dan setelah mengalami bermacam-macam perlawanan akibat gaya berat, akhirnya melimpah ke danau atau ke laut. Suatu alur yang panjang diatas permukaan bumi tempat mengalirnya air yang berasal dari air hujan disebut air sungai. Dan perpaduan antara alur sungai dan aliran air didalamnya disebut sungai.

Definisi tersebut merupakan definisi sungai yang ilmiah alami, sedangkan undang-undang persungai Jepang menjelaskan mengenai daerah sungai sebagai berikut : “ (1) Suatu daerah yang didalamnya terdapat air yang mengalir secara terus menerus, dan (2) Suatu daerah yang kondisi topografinya, keadaan tanamannya dan keadaan lainnya mirip dengan daerah yang didalamnya terdapat air yang mengalir secara terus menerus (termasuk tanggul sungai, tetapi tidak termasuk bagian daerah yang hanya sementara memenuhi keadaan tersebut diatas, yang disebabkan oleh banjir atau peristiwa alam lainnya)”.

Mulai dari mata airnya di bagian yang paling hulu di daerah pegunungan dalam perjalanannya ke hilir di daerah dataran, aliran sungai secara berangsur-angsur berpadu dengan banyak sungai lainnya, sehingga lambat laun tubuh sungai menjadi semakin besar. Kadang-kadang sungai yang bermuara di sebuah danau atau di pantai laut terdiri dari beberapa cabang, maka sungai yang paling penting, yakni sungai yang daerah pengalirannya, panjangnya dan volume airnya paling besar disebut sungai utama (*main river*), sedangkan cabang-cabang lainnya disebut anak sungai (*tributary*). Kadang-kadang sebelum alirannya berakhir di

sebuah danau atau pantai laut, sungai membentuk beberapa buah cabang yang disebut cabang sungai (*enfluent*) (Gayo, 1985).

### 2.3. Kualitas Air

Untuk keperluan hidup manusia sehari-hari air yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat kesehatan. Hal ini yang terpenting adalah air yang diminum atau dipakai tidak membahayakan diri manusia. Air bersih adalah air yang digunakan untuk berbagai macam kepentingan rumah tangga seperti mandi, mencuci, masak tetapi tidak dapat langsung diminum, karena mungkin masih mengandung bakteri patogen. Sedangkan air minum adalah air yang memenuhi standart kualitas air minum sesuai dengan peraturan pemerintah.

Di Indonesia sudah ditentukan standart kualitas air adalah sesuai dengan Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 907/MENKES/SK/VII/2002, yang meliputi syarat-syarat sebagai berikut:

#### 1. Syarat Fisik

Bahwa air yang digunakan sebagai air minum tidak berasa, berwarna, berbau dan keruh.

#### 2. Syarat Bakteriologi

Bahwa air minum tidak boleh mengandung kuman parasit, kuman patogen dan bakteri *coli*.

#### 3. Syarat Kimia

Bahwa air tidak boleh mengandung bahan-bahan kimia yang dapat mengganggu atau membahayakan kesehatan manusia.

#### 4. Syarat Radioaktif

Bahwa air yang digunakan sebagai air minum tidak boleh mengandung bahan-bahan radioaktif yang dapat membahayakan kesehatan manusia.

## 2.4. Pengertian Filtrasi

Proses filtrasi merupakan bagian yang cukup penting untuk proses pengolahan air. Beberapa pengertian filtrasi antara lain:

1. Filtrasi adalah suatu pemisahan padatan dan cairan dimana cairan ditempatkan melalui media berpori untuk memisahkan zat padat tersuspensi halus yang mungkin ada. (*Reynold, 1981*)
2. Filtrasi adalah suatu proses dimana air diupayakan melewati suatu lapisan berpori atau kombinasi bahan berbutir untuk memisahkan zat-zat tersuspensi dan koloid yang ada dalam air. (*Al-Layla, 1978*)

Filtrasi adalah proses penjernihan atau penyaringan air baku melalui media berbutir porous. Selama melalui media tersebut terjadi pemisahan atau reduksi kandungan material tersuspensi, koloid, bakteri dan organisme lainnya dan mengubah unsur-unsur kimiawi air baku melalui mekanisme filtrasi yang berlangsung di sepanjang *filter bed*. (*Huisman, 1980 dalam Suantari, 2005*)

## 2.5. Jenis-jenis Filter

Jenis proses filtrasi atau filter diklasifikasikan berdasarkan pada kecepatan air, arah aliran, tekanan yang bekerja pada media dan tingkat kekeruhan air baku.

### 2.5.1. Berdasarkan kecepatan aliran, dapat dibedakan menjadi :

#### 1. *Rapid Filtration*

Adalah proses air bersih yang umumnya dilakukan sesudah proses koagulasi, flokulasi dan sedimentasi. Kecepatannya yaitu 5–12 m/jam. Media yang dipakai bisa dalam bentuk :

- a. *Single media* (1 media)
- b. *Dual media* (2 media)
- c. *Mixed media* (dua atau lebih media)

#### 2. *Slow Filtration*

Adalah proses pengolahan air bersih yang umumnya dilakukan untuk air permukaan tanpa unit koagulasi, flokulasi dan sedimentasi. Jadi air baku sesudah melalui prasedimentasi langsung dialirkan ke filter. Proses koagulasi, flokulasi, sedimentasi dan filtrasi terjadi di filter ini

dengan bantuan mikroorganisme yang terbentuk di lapisan permukaan media pasir. Kecepatannya yaitu 0,1–0,2 m/jam. Beberapa keuntungan dari *slow sand filter* adalah, (Robert A. LeCraw, P., RAL Engineering Ltd.) :

- a. Efektif dalam menurunkan kekeruhan dan bakteri.
- b. Tidak perlu pengolahan pendahuluan dengan bahan kimia.
- c. Tidak perlu *backwashing*.
- d. Tidak menggunakan alat-alat dari mesin.

Sedangkan kelemahan dari *slow sand filter* adalah :

- a. Kekeruhan air baku harus rendah yaitu kurang dari 50 NTU.
- b. Membutuhkan lahan yang luas jika air baku mengandung alga dan kekeruhan yang tinggi.

#### **2.5.2. Berdasarkan arah alirannya, dapat dibedakan menjadi :**

##### *1. Downflow Filter*

Adalah proses filtrasi dimana air mengalir secara vertikal/gravitasi dari atas ke bawah.

##### *2. Upflow Filter*

Adalah proses filtrasi dimana air mengalir secara vertikal dari bawah ke atas.

##### *3. Horizontal Filter*

Adalah proses filtrasi dimana air mengalir secara horizontal.

#### **2.5.3. Berdasarkan tekanan yang bekerja pada media dapat dibedakan menjadi :**

##### *1. Gravity Filter*

Adalah proses filtrasi dimana air mengalir melalui *filter bed* secara gravitasi.

##### *2. Pressure Filter*

Adalah proses filtrasi dimana air mengalir melalui *filter bed* dengan tekanan.

#### 2.5.4. Penyaringan Langsung (*Direct Filtration*)

Adalah proses filtrasi yang dilakukan pada air baku dengan kekeruhan rendah, tetapi yang masih belum memenuhi persyaratan kualitas air, misalnya air sumur dangkal. Jika diperlukan koagulan dapat diinjeksikan pada saluran yang menuju filter dan flok-flok yang terjadi langsung disaring tanpa melalui sedimentasi sehingga dapat menghemat bangunan unit pengolahan.

#### 2.6. *Roughing Filter*

*Roughing Filter* adalah merupakan salah satu jenis pengolahan pendahuluan yang paling umum dipakai untuk penyediaan air minum. *Roughing filter* menggunakan media dengan ukuran yang jauh lebih besar dibandingkan dengan slow filtration maupun rapid filtration, yaitu dengan memiliki diameter > 2,00 mm.

*Roughing filter* mempunyai kapasitas penyimpanan endapan yang besar dari bahan-bahan tersuspensi pada filterbed. Bahan-bahan padat yang tertahan oleh filter dapat dihilangkan dengan cara membilas/menggelontor, bila perlu dengan cara menggali media filter, mencuci dan menggantinya.

Rate filtrasi dapat serendah rate pada slow sand filter atau lebih tinggi dari rate yang digunakan pada rapid filter, tergantung pada jenis filter, sifat kekeruhan dan tingkat penurunan kekeruhan yang diinginkan. Sedangkan kekeruhan air baku sebelum masuk ke dalam roughing filter yaitu 20 – 150 NTU (rata-rata kekeruhan tahunan). Hal ini dimaksudkan guna mencegah terjadinya penyumbatan yang terlalu sering dan menjamin kelangsungan operasinya untuk suatu periode waktu panjang.

Pada dasarnya ada dua jenis *roughing filter* yang dibedakan oleh arah alirannya, yaitu :

1. *Roughing filter* aliran vertikal

Adalah *roughing filter* dimana air mengalir secara vertikal dari atas ke bawah atau dari bawah ke atas. *Roughing filter* aliran vertikal ada tiga jenis yaitu : *downflow (DRF)*, *upflow roughing filter in series (URFS)* dan *upflow roughing filter in layer (URFL)*.

Keterbatasan struktural menyebabkan kedalaman *filter bed* pada *roughing filter* aliran vertikal terbatas tetapi memungkinkan kecepatan filtrasi dan kecepatan pencucian yang lebih tinggi. Memiliki kemampuan dalam menurunkan kekeruhan 68–85%, penurunan warna 29–68% dan penurunan COD lebih dari 50% (Galvis *et al.*, 1993).

2. *Roughing filter* aliran horizontal.

Adalah proses filtrasi dimana air mengalir secara horizontal. Pada *roughing filter* aliran horizontal memungkinkan penggunaan panjang filter yang tak terbatas tetapi kecepatan filtrasinya lebih rendah dan biasanya pembersihan media dilakukan secara manual. Dalam proses *roughing filter* aliran horizontal memiliki kemampuan dalam menurunkan kekeruhan 50–90%, suspended solid 40–80% dan penurunan warna 50–90% (Jayalath, 1996).

**2.6.1. *Roughing Filter* Aliran Vertikal**

*Roughing filter* aliran vertikal dibedakan lagi menjadi *roughing filter* aliran ke atas (*upflow*) dan aliran ke bawah (*downflow*).

Rate filtrasi pada gravel *upflow* filter relatif tinggi, mencapai 20 m/jam, karena besarnya rongga pori pada media filter sehingga tidak cepat terjadi clogging. Rate backwashing yang digunakan rendah karena tidak bermaksud untuk membuat lapisan media terekspansi, tetapi biasanya perlu waktu yang lebih panjang untuk membersihkan gravel (kira-kira 20 – 30 menit).

**2.7. Hidrolika Filtrasi**

Ketika air (fluida) melewati ruang pori pada butiran media, kehilangan energi disebabkan karena bentuk dan gaya gesek pada permukaan media untuk selanjutnya kehilangan energi terjadi karena ekspansi dari fluida yang melewati ruang pori diantara butiran media. Aliran yang melewati bukaan pori adalah fungsi dari beberapa parameter dan untuk memperkirakan digunakan pipa piezometrik (Reynold, 1981).

*Headloss* yang terjadi saat fluida melewati ruang pori diantara butiran media dapat dihitung berdasarkan persamaan Carmant – Kozeny dan persamaan Rose yang dikembangkan berdasarkan persamaan Darcy – Weisbach, yaitu (Reynold, 1981) :

$$HL = f \frac{LV^2}{2gD}$$

Dimana :  $f$  = Faktor gesekan

$V$  = Kecepatan rata – rata (m/dt)

$g$  = Percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)

$D$  = Diameter saluran (m)

Rumus penentuan bilangan Reynold pada saat fluida melewati media filter batu atau pasir.

$$N_R = \frac{\phi d V_s}{\nu}$$

Dimana :  $N_R$  = Reynolds number

$\Phi$  = faktor bentuk partikel (0,82 untuk pasir dibulatkan, 0,75 untuk rata-rata pasir, 0,73 untuk batubara yang dihancurkan dan pasir bersudut)

$d$  = diameter media (m)

$V_s$  = kecepatan filtrasi (m/dt)

$\nu$  = kinematik viskositas (m<sup>2</sup>/dt)

Rumus penentuan nilai koefisien drag pada media filter batu.

$$C_D = \frac{24}{N_R} + \frac{3}{\sqrt{N_R}} + 0.34$$

Dimana :  $C_D$  = Koefisien drag

*Headloss* yang terjadi pada saat fluida melewati ruang pori diantara media dapat dihitung dengan persamaan Rose.

$$h = \frac{1,067}{\phi} C_D \frac{1}{\alpha^4} \frac{L}{d} \frac{V_s^2}{g}$$

Dimana :  $\Phi$  = faktor bentuk partikel (0,82 untuk pasir dibulatkan, 0,75 untuk rata-rata pasir, 0,73 untuk batubara yang dihancurkan dan pasir bersudut)

$\alpha$  = porositas

- $L$  = Ketebalan filterbed (m)  
 $d$  = Diameter media filter (mm)  
 $V_s$  = kecepatan filtrasi (m/dt)  
 $g$  = Percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)

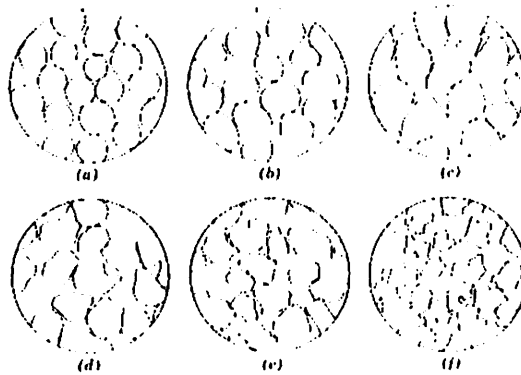
## 2.8. Jenis Media

Media yang digunakan dalam penelitian ini ada dua jenis yakni batu kerikil dan batu kapur. Batu kerikil dan batu kapur ini dipilih sebagai media filter karena kedua jenis media ini mudah didapatkan di pasaran dan harganya relatif murah. Penggunaan batu kapur sebagai media dalam *roughing filter* tidak mempengaruhi efisiensi dari penurunan kekeruhan sebab berdasarkan hasil penelitian sebelumnya nilai pH dari effluent cukup stabil yaitu 6-7 (Ariyanti Yuni, 2004).

Batu kerikil dan batu kapur ini secara visual terlihat mempunyai bentuk/rupa yang berbeda. Batu kerikil bentuknya lebih bulat sedangkan batu kapur bentuknya lebih bersudut-sudut. Secara umum terlihat pula bahwa batu kapur memiliki bentuk yang lebih tidak teratur dibandingkan dengan batu kerikil.

### 2.8.1. Bentuk Butiran dan Variasi Bentuk

Penentuan volume pori  $V_v$  dan volume pasir komplemen  $V$  didasarkan pada luas permukaan dari butiran-butiran relatif terhadap volume air dalam ruangan pori dengan fungsi  $A/V$ . Ini adalah ukuran karakteristik yang biasa digunakan dalam perhitungan kinerja filter dan menunjukkan identifikasi bentuk. Diantara ukuran-ukuran tersebut adalah  $\psi$  dan faktor bentuk  $S$ . Didefinisikan sebagai perbandingan dari luas permukaan ruangan volume ekuivalen dengan luas daerah sebenarnya,  $\psi$  adalah nilai asumsi seperti yang tercantum dalam tabel 2.1



Gambar 2.1 Faktor kebulatan dan faktor bentuk dari butiran dan porositas sehubungan dengan tingkat lapisan dalam filter cepat, (Fair, 1968).

Tabel 2.1

Nilai faktor kebulatan, faktor bentuk dan porositas berdasarkan gambaran bentuk butiran

| Gambaran     | Faktor Kebulatan<br>( $\psi$ ) | Faktor Bentuk<br>(S) | Porositas<br>(f) |
|--------------|--------------------------------|----------------------|------------------|
| a. Spherical | 1,00                           | 6,0                  | 0,38             |
| b. Rounded   | 0,98                           | 6,1                  | 0,38             |
| c. Worn      | 0,94                           | 6,4                  | 0,39             |
| d. Sharp     | 0,81                           | 7,4                  | 0,40             |
| e. Angular   | 0,78                           | 7,7                  | 0,43             |
| f. Crushed   | 0,70                           | 8,5                  | 0,48             |

(Sumber : Gordon M. Fair/John C. Geyer/Daniel A. Okun, *Water And Waste Water Engineering, Volume 2*).

### 2.8.2. Batu Kapur

Batu kapur (*limestone/ CaCO<sub>3</sub>*) adalah sebuah batuan sedimen terdiri dari mineral *calcite* (kalsium carbonate). Sumber utama dari *calcite* ini adalah organisme laut. Organisme ini mengeluarkan “*shell*” yang keluar ke air dan terdeposit di lantai samudra sebagai *pelagic ooze* (lihat lysocline untuk informasi tentang *dissolusi calcite*). *Calcite* sekunder juga dapat terdepositi oleh air meteorik tersuspensaturasi (air tanah yang presipitasi material di gua). Ini menciptakan

*speleothem* seperti *stalagmit* dan *stalaktit*. Bentuk yang lebih jauh terbentuk dari *Oolite* (batu kapur *Oolitic*) dan dapat dikenali dengan penampilannya yang “granular”. Batu kapur membentuk 10% dari seluruh volume batuan sedimen.

Batu kapur merupakan salah satu dari batuan sedimen. Dimana batuan sedimen dapat digolongkan menjadi 3 macam berdasarkan cara pengendapannya yaitu : klastis, kimia dan organik. Batu kapur termasuk dalam kelompok batuan sedimen kimiawi, yaitu yang terangkut dalam bentuk larutan kemudian diendapkan secara kimia di tempat lain. Contoh batuan sedimen kimiawi yaitu batu tetes (*stalagtit* dan *stalagmite*, *limestone* (dari kalsit), *gypsum* (dari mineral sulfat), *hematit* (dari mineral yang kaya besi) dan sebagainya (Munir, 2003).

### 2.8.3. Batu Kerikil

Batu kerikil juga termasuk dalam jenis batuan sedimen, yaitu sedimen klastis (*Clastic*). Batuan sedimen klastis/mekanik/fisik merupakan batuan yang terangkut dalam bentuk padat/tidak larut kemudian diendapkan di tempat lain mengalami sedimentasi menjadi batuan sedimen. Berdasarkan besarnya butir-butir dapat digolongkan lagi seperti dalam table 2.2:

**Tabel 2.2**

**Golongan Butiran-Butiran Batuan Sedimen.**

| Nama Partikel | Diameter (mm) | Sebutan Endapan Lepas | Sebutan Batuan Gabungan          |
|---------------|---------------|-----------------------|----------------------------------|
| Batu besar    | > 256         | Kerikil               | Konglomerat                      |
| Kerikil kasar | 64 - 256      | Kerikil               | Sedimen                          |
| Kerikil halus | 2 - 64        | Kerikil               | Breksi                           |
| Pasir         | 1/16 - 2      | Pasir                 | Batu pasir                       |
| Debu          | 1/256-1/16    | Debu                  | Batu pasir                       |
| Liat          | < 1/256       | Liat                  | Batu liat, batu lumpur dan shale |

(Sumber : Munir, 2003)

Batuan sedimen yang tergolong sedimen klastis ini mempunyai sifat yang koheren, pada umumnya warnanya bervariasi tergantung pada penyusunnya.

Biasanya dicirikan oleh sekumpulan batu atau kerikil yang bulat dan kokoh tersusun sedemikian rupa sehingga menjadi satu kesatuan kokoh.

Beberapa sifat lainnya adalah bentuk batuan penyusunnya pada umumnya berbentuk bulat (*rounded*) yang mencirikan bahwa bahan penyusun tersebut berasal dari tempat yang jauh.

## 2.9. Definisi Membran

Kata membran berasal dari bahasa Latin "*membrana*" yang berarti potongan kain. Saat ini istilah membran didefinisikan sebagai suatu penghalang tipis di antara 2 fase yang menahan transport beberapa senyawa atau bersifat semipermeabel (permeabilitas selektif), dimana istilah selektif ini inheren dengan membran dan membran proses (Mulder, 1996). Sedangkan menurut I.G.Wenten (2003) membran memiliki arti sebagai lapisan tipis yang berada di antara dua fase dan berfungsi sebagai pemisah yang selektif. Pemisahan pada membran bekerja berdasarkan perbedaan koefisien difusi, perbedaan potensial listrik, perbedaan tekanan, atau pemisahan konsentrasi.

Proses membran berarti pemisahan/separasi dan pengkonsentrasian molekul dan partikel berukuran halus. Proses membran melibatkan umpan (cair dan gas), dan daya dorong (*driving force*) yang terjadi akibat perbedaan tekanan ( $\Delta P$ ), perbedaan konsentrasi ( $\Delta C$ ), maupun perbedaan energi ( $\Delta E$ ).

## 2.10. Klasifikasi Membran

Pengklasifikasian membran dapat dilakukan atas dasar berbagai hal, yaitu berdasarkan material membran, konfigurasi membran, mekanisme pemisahan dan berdasarkan ukuran pori membran. Klasifikasi membran saling terkait satu sama lain dimana proses dan material penyusun membran menjadi satu bagian yang akan mengidentifikasi jenis suatu membran.

### 2.10.1. Klasifikasi berdasarkan material membran

Material membran adalah bahan-bahan pembuat membran. Pada dasarnya banyak sekali material-material pembentuk membran. Material membran sangat memegang peranan penting bagi keberhasilan tujuan penggunaan membran. Hal

ini disebabkan material membran menentukan tingkat selektifitas membran (tingkat rejeksi yang diinginkan).

Syarat-syarat yang harus dipenuhi material untuk proses pemisahan secara prinsip adalah (Nassa A., 2004):

- a. Resisten terhadap bahan kimia umum.
- b. Stabilitas mekanis.
- c. Stabilitas terhadap suhu.
- d. Permeabilitas yang tinggi.
- e. Sifat retensi yang tinggi.
- f. Operasional stabil dan rendah biaya (ekonomis).

Macam-macam material yang terdapat di pasar membran adalah (Scott, 1995):

- a. Produk alami termodifikasi
  - Selulosa asetat (CA), (Selulosa-2-asetat, Selulosa-2,5-diasetat).
  - Selulosa asetobutyrat.
  - Selulosa regenerat.
  - Selulosa nitrat.
- b. Produk sintetik
  - Polyamide (PA : aromatic polyamide, copolyamide, polyamide hydrazide).
  - Polybenzimidazole.
  - Polysulphone (PS).
  - Vinyl polymers.
  - Polyfuran (PF).
  - Polycarbonate (PC).
  - Polyethylene (PE).
  - Polypropilene (PP).
  - PVA.
  - Polyacrylonitrile.
  - Polyether sulphone (PES).
  - Polyolefins.
  - Polyhydantoin.
  - Silicone rubber.

- Polytetrafluoroethylene (PTFE).
- Polyvinylidene fluoride (PVDF).
- Nylon.
- c. Miscellaneous
  - Polyelectrolyte complex.
  - Porous glass.
  - Graphite oxide.

#### 2.10.2. Klasifikasi berdasarkan konfigurasi membran

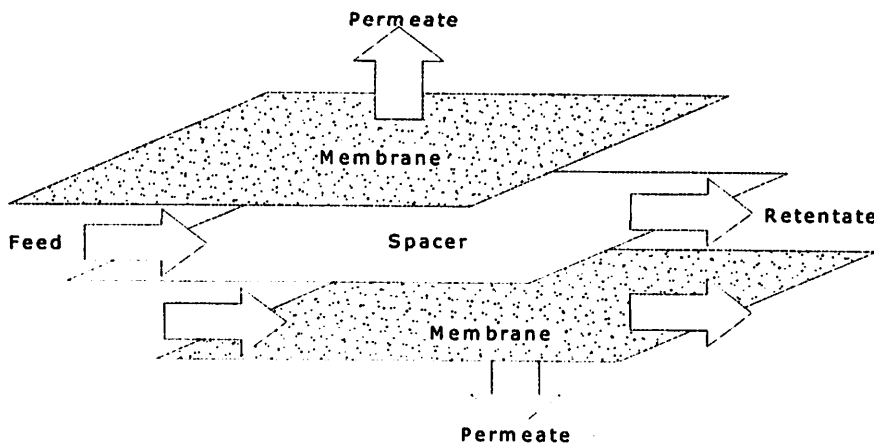
Konfigurasi membran merupakan gambaran mengenai bentuk dan struktur membran. Bentuk membran yang umum antara lain (Zaini Ujang, 2004):

- a. *Flat sheet*
- b. *Hollow fiber*
- c. *Spiral wound*
- d. *Tubular*

Bentuk membran yang bermacam-macam menghasilkan konfigurasi yang berbeda pada masing-masing bentuk. Masing-masing membran memiliki konfigurasi sebagai berikut (W. Wesley E., 2000):

- a) *Flat sheet*

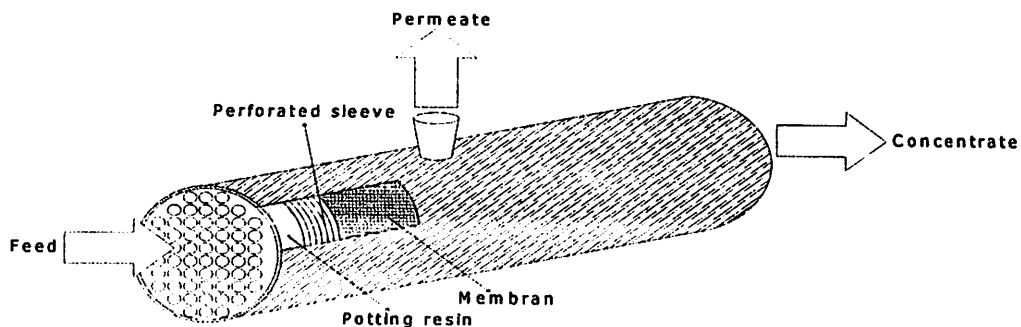
Bentuk membran menyerupai lembaran kertas tipis yang kecil. Pada umumnya ukuran membran yang dijual dipasaran memiliki ukuran 47 mm. Ketebalan dari membran ini berkisar 0,5-3,0 mm dengan densitas paking sekitar  $100-400 \text{ m}^2/\text{m}^3$  (Vina C., 2004). Air dilewatkan pada lapisan membran yang terhubung, dimana lempeng akan memperkuat membran dalam menahan tekanan, selain itu juga menyediakan saluran *permeate* hasil saringan. Modul membran *flat sheet* diperlihatkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Bentuk Membran *Flat Sheet*, (W. Wesley E., 2000).

b) *Hollow fiber*

Membran berupa bundel atau ikatan ratusan hingga ribuan serat yang halus. Bundel tersebut diletakkan pada wadah atau tempat yang dapat menahan tekanan dari pompa. Arah alirannya bisa *in-outside* atau *out-inside flow*. Menurut Vina C., 2004 modul ini sangat padat dengan densitas paking mulai dari  $1000 \text{ m}^2/\text{m}^3$  pada modul UF dan lebih dari  $10.000 \text{ m}^2/\text{m}^3$  pada modul RO. Modul membran *hollow fiber* diperlihatkan pada gambar 2.3.

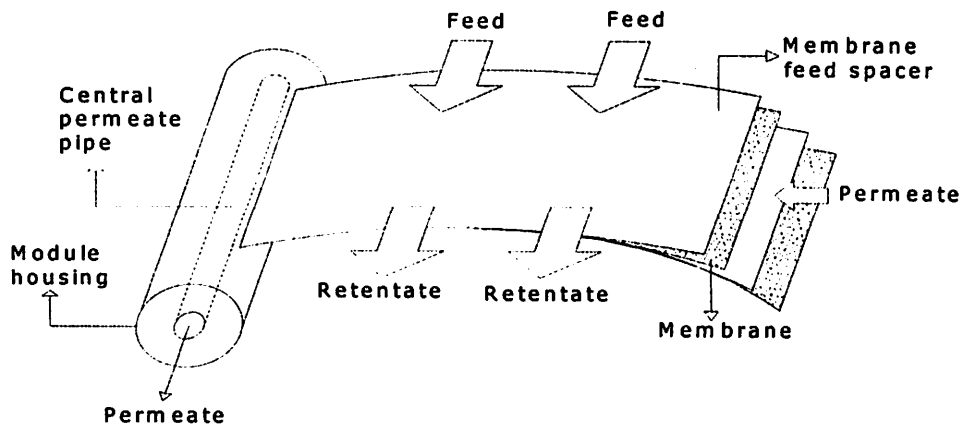


Gambar 2.3 Modul Membran *Hollow Fiber*, (Zaini Ujang, 2004).

c) *Spiral wound*

Terdiri dari dua atau lebih membran *flat sheets* yang terletak diantaranya masing-masing adalah saluran *permeate* yang fleksibel. Sisi membran pertama dilekatkan pada pipa terperforasi, kemudian ditambahkan *feed spacer*, yang kemudian bersama-sama membran *flat-sheets* digulung

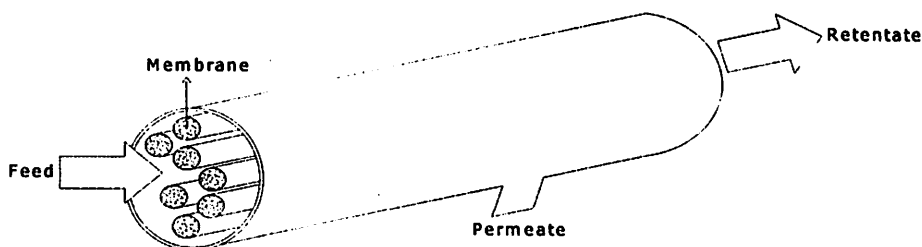
(diputar) mengikuti diameter pipa. Pemasangan secara cermat dan seketat serta selekat mungkin. Aliran bergerak secara spiral mengikuti alur yang ada. Modul membran *spiral wound* diperlihatkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Modul Membran *Spiral Wound*, (W. Wesley E., 2000).

#### d) *Tubular*

Konfigurasi meletakkan membrannya di dalam tabung pendukung. Kemudian beberapa tabung yang berisi membran tersebut diletakkan lagi ke dalam wadah atau tabung penahan tekanan. Air baku dipompakan melewati saluran umpan dan air yang keluar dikumpulkan di bagian luar tabung. Modul jenis ini biasa digunakan untuk air baku dengan kandungan *suspended solid* yang tinggi. Bahan penyusunnya dapat berupa keramik, karbon dan sejumlah bahan palstik yang berlubang dengan diameternya dari 3,2 mm hingga 2,54 cm.



Gambar 2.5 Modul Membran *Tubular*, (W. Wesley E., 2000).

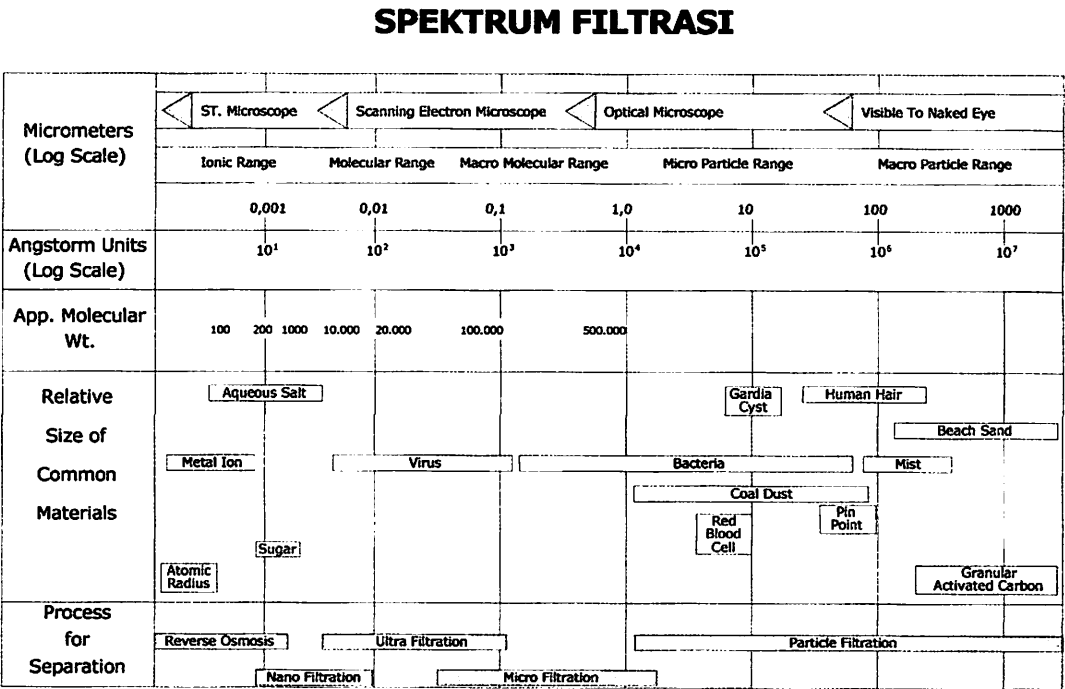
2.10.3. Klasifikasi berdasarkan mekanisme pemisahan

Terdapat tiga mekanisme pemisahan penting yang tergantung bagian khusus pada komponen yang akan dipisahkan oleh membran (Zaini Ujang, 2004):

- Pemisahan berdasarkan perbedaan besar ukuran partikel (*sieve effect*) berupa membran berpori (*porous membranes*). Operasi utamanya adalah mikrofiltrasi (MF), ultrafiltrasi (UF) dan dialisis (DIA).
- Pemisahan berdasarkan perbedaan solubilitas dan difusifitas material dalam membran (mekanisme solusi-difusi) berupa membran nonpori (*nonporous membranes*). Terjadi pada pervaporasi (PV) dan reverse osmosis (RO).
- Pemisahan berdasarkan perbedaan muatan spesies yang akan dipisahkan (efek elektrokimia) berupa membran *ion exchange* yang terjadi pada elektrodialisis (ED) dan nanofiltrasi (NF).

2.10.4. Klasifikasi berdasarkan ukuran pori membran

Berdasarkan ukuran pori, membran dapat dikelompokkan sebagaimana diperlihatkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Spektrum Filtrasi, (Zaini Ujang, 2004).

**Keterangan :**

**1. Membran mikrofiltrasi**

Membran ini memiliki ukuran pori antara 0,05  $\mu\text{m}$  sampai 10  $\mu\text{m}$  dan tebal antara 10  $\mu\text{m}$  sampai 150  $\mu\text{m}$ . Mikrofiltrasi digunakan pada berbagai macam aplikasi di industri, terutama untuk pemisahan partikel berukuran  $> 0,1 \mu\text{m}$  dari larutannya (*Wenten, 1999*). Tekanan operasi pada membran mikrofiltrasi adalah 50 hingga 500 Kpa atau 0,5 hingga 5 bar (*Zaini Ujang, 2004*).

**2. Membran ultrafiltrasi**

Proses ultrafiltrasi berada diantara proses nanofiltrasi dan mikrofiltrasi. Ukuran pori membran berkisar antara 0,005  $\mu\text{m}$  sampai 0,1  $\mu\text{m}$ . Aplikasi utama membran ini adalah untuk industri pengolahan air bersih, industri farmasi, industri metalurgi dan industri tekstil. Mampu merejeksi semua tipe bakteri dan virus. Tekanan operasi pada membran ultrafiltrasi berkisar 50 hingga 500 Kpa atau 0,5 hingga 5 bar (*Zaini Ujang, 2004*).

**3. Membran nanofiltrasi**

Merupakan membran komposit dengan ukuran pori berkisar antara 0,001  $\mu\text{m}$  sampai 0,01  $\mu\text{m}$ . Aplikasi dalam industri adalah pada desalinasi air payau, penghilangan mikropolutan, penghilangan ion-ion bervalensi dua dan molekul organik. Tekanan operasi membran nanofiltrasi berkisar 0,5 hingga 1,5 Mpa atau 5 hingga 15 bar (*Zaini Ujang, 2004*).

**4. Reverse osmosis**

Digunakan untuk memisahkan zat terlarut yang memiliki berat molekul yang rendah seperti garam anorganik dan molekul organik kecil, seperti glukosa dan sukrosa dari larutannya, proses desalinasi air laut dan air payau, pengolahan air, pengolahan limbah untuk proses *reuse* dan *recycling*. Tekanan operasi untuk desalinasi air laut berkisar antara 5 hingga 8 Mpa atau 50 hingga 80 bar (*Zaini Ujang, 2004*).

Selain berdasarkan spektrum filtrasi, secara umum penggunaan membran berdasarkan ukuran pori dapat dilihat pada tabel 2.3.

**Tabel 2.3 Penggunaan Membran Berdasarkan Ukuran Pori**

| Ukuran Pori        | Penggunaan                                                                                          |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,1 $\mu\text{m}$  | a) Semi konduktor bahan kimia<br>b) Filtrasi asam<br>c) <i>High purity water</i>                    |
| 0,2 $\mu\text{m}$  | a) Sterilisasi gas dan larutan<br>b) Filtrasi asam<br>c) Air mineral<br>d) <i>High purity water</i> |
| 0,45 $\mu\text{m}$ | a) Reduksi bakteri<br>b) Sterilisasi molekul besar<br>c) Sterilisasi <i>wine</i>                    |
| 0,65 $\mu\text{m}$ | a) Kosmetik<br>b) Reduksi bakteri<br>c) Sterilisasi <i>wine</i>                                     |
| 0,8 $\mu\text{m}$  | a) Reduksi jamur<br>b) Pre filter untuk serum                                                       |
| 1,2 $\mu\text{m}$  | a) <i>General filtration</i><br>b) <i>Plating solution</i>                                          |
| 3 $\mu\text{m}$    | a) Pengolahan air limbah<br>b) Laboratorium                                                         |
| 5 $\mu\text{m}$    | Pre filter untuk <i>reverse osmosis</i>                                                             |
| 10 $\mu\text{m}$   | Air mineral                                                                                         |
| 30 $\mu\text{m}$   | a) <i>Visible</i> partikel<br>b) <i>Syrup filtration</i>                                            |
| 60 $\mu\text{m}$   | Partikel gel                                                                                        |

Sumber : Scott,1995

### 2.11. Peristiwa *Fouling* dan Polarisasi Pada Membran

Membran *fouling* dan konsentrasi polarisasi adalah dua masalah yang sering terjadi pada permukaan membran dan dapat mengurangi fluks membran serta mengubah efisiensi penyisihan material membran pada saat proses

berlangsung (Aimar, 1994 dalam Vina C., 2004). *Fouling* adalah fenomena yang disebabkan oleh deposisi dan akumulasi secara irreversibel dari partikel-partikel submikron pada permukaan atau kristalisasi serta presipitasi dari partikel-partikel yang berukuran lebih kecil pada permukaan atau di dalam membran itu sendiri. *Fouling* disebabkan interaksi secara fisik dan kimiawi antara membran dan partikel yang terdapat dalam proses (IG.Wenten, 1999). Partikel yang terdeposisi pada membran antara lain adalah koloid, makromolekul, garam dan mikroorganisme. Membran *fouling* diidentifikasi dengan penurunan fluks *permeate* dan perubahan efisiensi penurunan atau penyisihan membran. Proses terjadinya *fouling* pada membran meliputi tiga tahap antara lain (Vina C., 2004):

▪ Tahap I

Polarisasi konsentrasi yaitu peningkatan lokal konsentrasi *solute* pada permukaan membran atau dapat juga diartikan sebagai akumulasi zat terlarut pada permukaan membran yang dapat kembali ke aliran umpan dengan cara difusi balik. Konsentrasi zat terlarut pada permukaan membran ini jauh lebih besar dari konsentrasi zat terlarut pada *permeate*.

Pada polarisasi konsentrasi ini fluks mengalami penurunan karena adanya peningkatan pada tahanan hidrodinamika pada lapisan batas serta akibat kenaikan tekanan osmotik lokal. Polarisasi konsentrasi merupakan peristiwa yang dapat dibalikkan (reversibel), karena efeknya dapat dikurangi dengan cara antara lain menurunkan tekanan operasi dan menurunkan konsentrasi umpan. Cara lain yang dapat digunakan untuk mengurangi polarisasi adalah dengan memodifikasi permukaan menjadi lebih hidrofilik, meningkatkan kecepatan aliran umpan (untuk *cross flow*), desain modul dan lain-lain.

▪ Tahap II

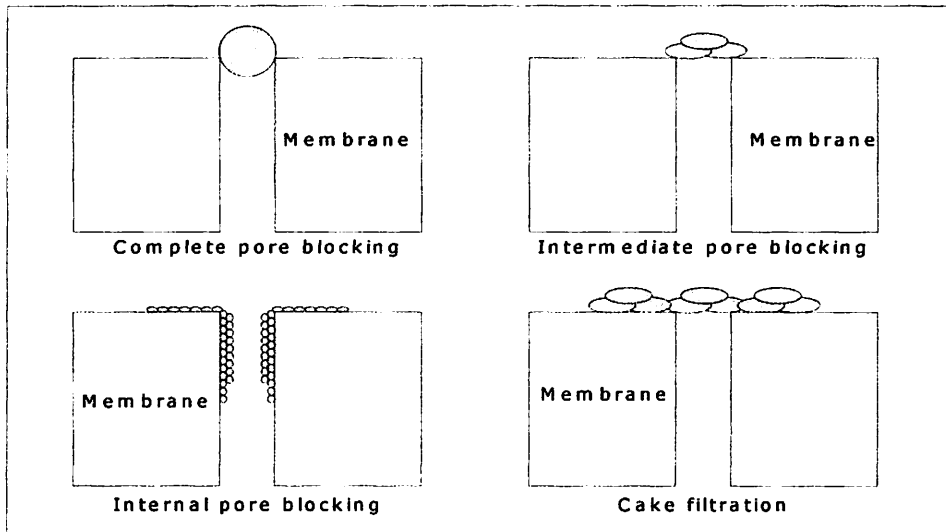
Perpindahan *solute* dari permukaan membran ke dalam material membran, dalam hal ini adalah pori-pori membran, sehingga antara *solute* yang satu dengan *solute* yang lain benar-benar teradsorpsi atau melewati serangkaian langkah desorpsi atau adsorpsi yang reversibel dalam pori-pori membran.

▪ Tahap III

Pada tahap ini terjadi proses adsorpsi *solute* pada pori membran sehingga terjadi pemblokiran atau penyempitan ukuran pori membran. Ketiga tahap ini

menyebabkan terjadinya *fouling* dan turunnya fluks *permeate*. Turunnya fluks *permeate* mungkin terjadi dalam satu atau beberapa tahap pada suatu sistem namun biasanya berlangsung cepat pada menit-menit awal operasi untuk kemudian diikuti dengan penurunan fluks secara perlahan.

Mekanisme penyumbatan atau penyempitan pori pada membran *fouling* diperlihatkan pada gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.7 Mekanisme Bloking Pada Pori Membran, (Shiau, Jia-Shyan, 2003 dalam Vina C., 2004)

Dari gambar 2.7 dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. *Complete Pore Bloking*

Jenis *fouling* seperti ini terjadi jika ukuran partikel *solute* tepat menyumbat lingkaran pori membran sehingga tertutup total.

b. *Intermediate Pore Bloking*

Jika ukuran *solute* lebih besar dari pori membran, maka partikel *solute* akan terakumulasi di permukaan membran sehingga pori membran akan terlapis oleh hamparan-hamparan partikel tersebut.

c. *Internal Pore Bloking*

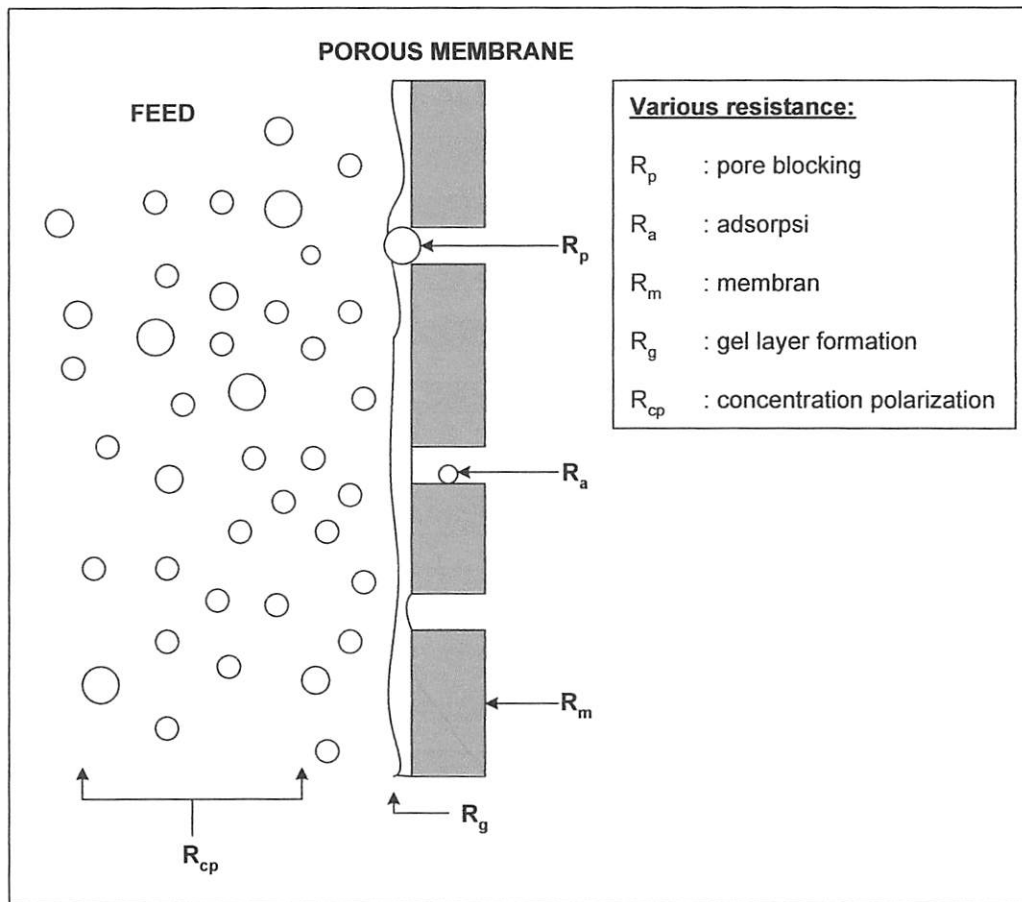
Terjadi jika ukuran partikel *solute* lebih kecil dari ukuran diameter pori membran sehingga terjadi penyempitan pori membran akibat teradsorpsi atau terdeposisinya partikel-partikel disekeliling bagian dalam pori membran. Penyempitan diameter pori-pori efektif menyebabkan tahanan membran naik.

d. *Cake Filtration*

*Fouling* jenis ini terjadi jika ukuran partikel-partikel solute sangat kecil dan memiliki sifat gel. Sifat-sifat gel jika berada dalam keadaan terakumulasi dapat membentuk *cake filtration*. *Cake filtration* dapat menaikkan tahanan hidraulik secara kontinyu.

Adsorpsi atau pengendapan material dalam pori-pori membran dapat menurunkan jari-jari pori. Adsorpsi sebagai mekanisme *fouling* terhadap membran mempunyai efek pada *permeate* fluks dengan permeabilitas berbeda. *Fouling* ada yang bersifat *reversible* dan *irreversible*. *Fouling* yang bersifat *irreversible* (permanen) dapat dibersihkan dengan cara kimiawi atau mekanik, sedangkan yang *reversible* (tidak permanen) dapat dibersihkan hanya dengan metode penggelontoran (Vina C., 2004).

Pada dasarnya peristiwa polarisasi dan *fouling* akan menyebabkan resistensi. Resistensi pada membran meliputi resistensi membran ( $R_m$ ), resistensi adsorpsi ( $R_a$ ), resistensi penutupan pori ( $R_p$ ), resistensi *cake layer* atau *gel layer* ( $R_g$ ) dan resistensi polarisasi ( $R_{cp}$ ) (Mulder, 1996). Resistensi ini akan menghambat laju fluks, sehingga secara tidak langsung fluks akan menurun dan suhu meningkat. Semua jenis resistensi tersebut dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Resistensi Membran Terhadap Transport Massa Pada Membran Berpori, (Mulder, 1996)

Strategi untuk mengontrol *fouling* ada beberapa macam (Fane, 2000 dalam Vina C., 2004):

1. Melakukan *pretreatment* pada umpan, contohnya adalah menggunakan membran mikrofiltrasi (MF) sebelum masuk membran reverse osmosis (RO).
2. Pemilihan jenis membran. Faktor penting yang tidak boleh terlupakan adalah karakter pori membran, sifat hidrofilik atau hidrofobik membran.
3. Pemilihan desain modul disesuaikan kebutuhan.
4. Model operasi membran.

## 2.12. Proses Dalam Operasi Membran

Inti dari proses membran adalah fluks dan rejeksi. Fluks adalah laju alir *permeate* per satuan luas membran. *Permeate* adalah air yang telah tersaring dari membran. Rejeksi adalah fraksi kontaminan yang tertahan atau tersaring oleh

membran, biasanya dalam bentuk persentase. Rejeksi sangat tergantung pada permeabilitas membran. Permeabilitas sendiri sangat tergantung pada pemilihan struktur, material dan bentuk modul membran. Rejeksi juga sangat ditentukan oleh ukuran dan bentuk pori sedangkan perpindahan pelarut ditentukan oleh beda tekan yang digunakan (Arie D.S., 2004).

Parameter utama dalam operasi membran adalah sebagai berikut:

### 2.12.1. Permeabilitas

Merupakan ukuran kecepatan suatu spesi menembus membran. Permeabilitas ini sangat dipengaruhi oleh jumlah pori, ukuran pori dan tekanan yang dioperasikan. Dalam pengukuran, permeabilitas dinyatakan dalam fluks, yaitu jumlah volume *permeate* yang melewati satu satuan luas membran dalam waktu tertentu. Secara sistematis fluks dirumuskan sebagai berikut (Mulder, 1996):

$$J_v = \frac{V}{A \times t} \quad (\text{persamaan 1})$$

Dimana:

$J_v$  = fluks (L/m<sup>2</sup> jam)

$V$  = volume *permeate* (Liter)

$A$  = luas permukaan membran (m<sup>2</sup>)

$t$  = waktu penyaringan (jam)

Permeabilitas sangat dipengaruhi oleh daya dorongnya (*driving force*). Pada membran mikrofiltrasi digunakan tekanan sebagai daya dorongnya. Pada banyak kasus kecepatan *permeate* melewati membran sebanding dengan daya dorongnya.

### 2.12.2. Perselektivitas

Merupakan kemampuan suatu membran menahan suatu spesi atau melewatkan spesi tertentu, tergantung pada interaksi *interface* membran dengan spesi serta ukuran spesi dan ukuran pori. Parameter yang digunakan adalah efisiensi penurunan partikel, yaitu fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran dan dirumuskan sebagai berikut (Mulder, 1996):

$$R = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \quad (\text{persamaan 2})$$

Dimana:

R = efisiensi penurunan partikel

$C_0$  = konsentrasi sebelum melewati membran

$C_1$  = konsentrasi setelah melewati membran

Perselektivitas ini dapat dikatakan pula sebagai persentase rejeksi yang dirumuskan sebagai berikut (Zaini Ujang, 2004):

$$\%R = 1 - \left( \frac{C_p}{C_f} \right) \quad (\text{persamaan 3})$$

Dimana:

%R = persentase rejeksi

$C_p$  = konsentrasi *permeate*

$C_f$  = konsentrasi umpan (*feed*)

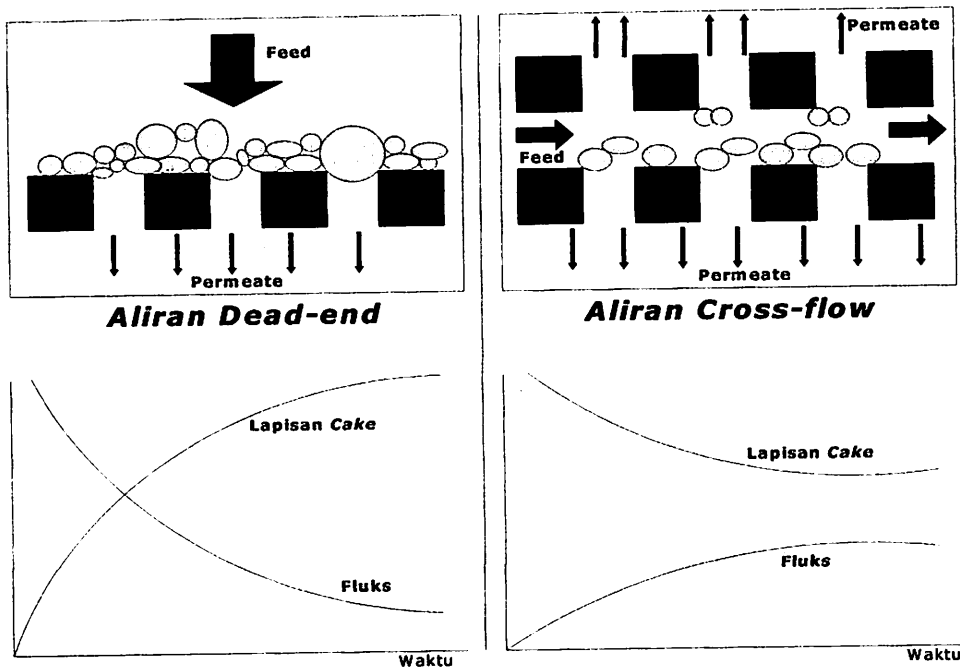
Dalam operasi membran terjadi peristiwa perpindahan material dari fase 1 ke fase 2. Sejumlah material yang mempunyai ukuran lebih kecil dari pori membran mampu berpindah ke fase 2 melalui pori membran, sedangkan material yang lebih besar akan tertahan dipermukaan membran. Material yang tertahan dipermukaan membran secara tidak langsung akan menjadi media filter tambahan bagi membran, dimana material yang tertahan akan membentuk lapisan (*cake*) untuk menahan sejumlah material yang melewatinya. Namun pembentukan *cake* ini tentu akan mengurangi fluks membran.

Dari segi aliran yang ditimpakan kepada membran, maka dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu sistem *dead-end* dan *cross-flow*. Cara kerjanya sangat tergantung pada hidrodinamika laju aliran *feed* atau aliran umpan.

*Dead-end* biasa digunakan pada suspensi dengan kandungan solid yang sangat rendah, seperti yang biasa dijumpai pada proses filtrasi steril pada industri makanan ringan dan farmasi. Proses ini membutuhkan kandungan solid rendah karena sifat aliran adalah tegak lurus permukaan seperti dapat dilihat pada gambar 2.9. Semakin lama fluks atau *permeate* akan turun hampir secara linier. Ini akan

berakibat penurunan fluks yang cukup cepat dan dengan penurunan yang signifikan. Penyebabnya adalah pertambahan jumlah solid sepanjang permukaan filter yang dapat menyebabkan sumbatan pada sistem filtrasi sehingga partikel yang tertinggal terakumulasi dan membentuk sejenis *cake layer*.

Sistem *Cross-flow* berlawanan dengan sistem *dead-end* yaitu dapat digunakan dengan kandungan solid yang jauh lebih banyak dari yang dipersyaratkan untuk sistem *dead-end*. Hal ini mengingat aliran umpan searah dengan permukaan membran sehingga dapat menghindari terakumulasinya *solute* dipermukaan membran. Penurunan fluks oleh sistem ini menurun secara eksponensial, dan tidak menurun secara cepat, seperti dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Sistem Aliran *Dead-end* dan *Cross-flow*, (Zaini Ujang, 2004).

### 2.13. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kinerja Membran

Beberapa variabel penting mempengaruhi efisiensi dan fluks proses membran, pengaruh tersebut tergantung pada jenis air baku yang akan diproses. Faktor yang akan berpengaruh terhadap rejeksi dan fluks *permeate* selama proses adalah karakteristik membran, tekanan operasi, pH, konsentrasi umpan, temperatur operasi dan daya saing antar bahan. Berikut penjelasannya:

### 2.13.1. Karakteristik membran

Karakteristik membran meliputi material membran, tipe membran dan ukuran pori yang digunakan serta kondisi operasi (tekanan maksimum, *range* pH dan temperatur). Namun secara mendalam, kebanyakan pengertian karakteristik membran adalah dalam bentuk resisten atau permeabilitas membran. Permeabilitas ini diatur dengan formula yang terkait dengan fluks dan perbedaan tekanan (TMP) dan viskositas.

### 2.13.2. Tekanan operasi

Tekanan operasi mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap fluks membran. Tekanan operasi disini artinya adalah  $\Delta P$ , beda tekanan yang dihasilkan antara tekanan operasi sebelum masuk membran dengan tekanan setelah keluar dari membran. Rata-rata dari tekanan inlet dan outlet dikurangi dengan tekanan pada ruang *permeate* dinamakan *Trans Membrane Pressure* (TMP). TMP inilah yang memegang peranan penting bagi laju *permeate* yang terjadi dari proses membran. Semakin tinggi TMP suatu membran, maka semakin tinggi pula fluks yang dihasilkan (*permeate*), namun hal ini tentu saja akan meningkatkan kemungkinan membran akan rusak lebih cepat disebabkan koyaknya membran akibat tekanan begitu besar.

### 2.13.3. pH

Penetrasi larutan melalui membran adalah dipaksakan tidak hanya melalui difusi tetapi juga melalui dissolusi larutan ke dalam membran. Tingkat dissolusi tergantung pada derajat ikatan hidrogen antara larutan dengan membran. Bila ikatan hidrogen meningkat, lebih banyak larutan yang masuk membran dan ini lebih banyak larutan yang diperoleh selama difusi (*Nassa A., 2004*). Dalam operasi membran pH optimum *feed* kurang lebih 4,7 dengan kisaran pada operasi 4,5 sampai 5,5 (*W. Wesley E., 2000*).

### 2.13.4. Konsentrasi umpan (*feed*)

Konsentrasi umpan juga berpengaruh terhadap fluks membran dimana fluks meningkat menurut gradien konsentrasi. Walaupun membran sudah mampu merejeksi material *feed* yang masuk, namun hal ini akan mengakibatkan

percepatan penyumbatan (*clogging*) sehingga akan menghasilkan fluks yang lebih kecil.

#### 2.13.5. Temperatur operasi

Membran tidak merubah temperatur *permeate*. Temperatur *permeate* memiliki hubungan tegak lurus dengan temperatur *feed* (Wenten, 2003). Peningkatan temperatur *feed* akan sangat meningkatkan permeabilitas air, sementara penyisihan hampir sama atau meningkat sedikit. Selain itu pula, kenaikan temperatur akan memberikan pengaruh kenaikan fluks dari *permeate* (Scott, 1995). Namun temperatur yang tinggi hingga 38°C akan merusak akurasi membran dan tidak dapat digunakan untuk pemakaian membran dalam periode yang lama (W. Wesley E., 2000).

#### 2.13.6. *Suspended Solid* (SS) dan Molekul Organik

Ukuran partikel berperan dalam penentuan transport partikel menuju dan melewati membran. Bila partikel dipindahkan melalui membran, ukurannya akan menentukan bagaimana partikel masuk ke dalam pori membran dan apakah akan mempengaruhi resistensi hidrolis lapisan deposit. Sebagaimana dalam kasus ini bahan koloid, ukuran dan bentuk molekul organik akan penting dalam penentuan transport molekul masuk dan melewati membran dan ini juga penting untuk penetrasi kedalam pori membran.

Hubungan antara konsentrasi *suspended solid* dan laju alir *permeate* melalui membran menunjukkan bahwa fluks menurun dengan peningkatan konsentrasi *suspended solid*. Penurunan fluks disebabkan *fouling* pada membran. Menurut Yusuf N.S., (2004) *fouling* juga dapat berguna sebagai filter sebelum masuk ke dalam membran.

#### 2.13.7. Periode Operasi

Seiring dengan periode operasi membran maka akan terbentuk lapisan *cake* pada permukaan membran yang dapat menyebabkan *fouling*. Hal ini tentunya mengurangi fluks yang melewati membran tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh Nasrul, dkk (2002) menyimpulkan bahwa fluks akan menurun seiring dengan penambahan waktu.

#### 2.13.8. Bentuk Kontaminan

Faktor bentuk partikel kontaminan yang hendak dipisahkan juga turut memberikan pengaruh pada performa membran. Sebagai contoh protein, bentuknya memiliki peranan yang besar untuk menentukan faktor retensi dari membran. Semakin bulat seperti bola protein tersebut, maka semakin besar pula retensi membran sementara di lain pihak bentuk protein yang lurus atau linear lebih membutuhkan pori membran yang lebih rapat untuk menghasilkan *recovery* yang besar (Nassa A., 2004).

#### 2.14. Kekeruhan

Sebagian besar air baku untuk penyediaan air diambil dari air permukaan tanah seperti sungai, danau, sumur dan sebagainya. Salah satu langkah penting untuk mendapatkan air bersih adalah menghilangkan kekeruhan dari air tersebut. Kekeruhan di dalam air disebabkan oleh adanya dispersi zat-zat padat di dalam air yang berupa jasad-jasad renik, zat organik, tanah liat, lumpur dan sebagainya. Hal ini kerap kali terjadi pada air permukaan pada saat musim hujan. Kekeruhan juga bisa disebabkan oleh pengotoran organik dan anorganik yang tersuspensi dalam air. Zat-zat tersebut dapat berupa partikel-partikel melayang (sulit mengendap) yang disebut koloid. Partikel koloid ini mempunyai ukuran yang sangat kecil yaitu antara 10 nm sampai 10  $\mu m$ . Kekeruhan merupakan sifat optis dari suatu larutan yaitu hamburan dan absorpsi cahaya yang melaluinya. Jadi kekeruhan mempunyai sifat menghamburkan cahaya. Pengukuran kekeruhan air disebabkan pada sifat tersebut, yaitu semakin tinggi intensitas cahaya yang dibaurkan, menunjukkan semakin tinggi kekeruhan tersebut. (Alaert. G, Sumestri. Sri Santika, 1984)

Metode pengukuran kekeruhan ada beberapa macam antara lain :

- a. Metode *Nephelometrik* (Unit Kekeruhan Nephelometrik)
- b. Metode *Hellige Turbidimetri* (Unit Kekeruhan Silica)
- c. Metode *Visuil* (Unit Kekeruhan Jackson)

#### 2.15. Nitrat ( $NO_3$ )

Nitrat ( $NO_3$ ) sebagaimana halnya nitrit dan amonia merupakan senyawa nitrogen organik yang banyak mendapat perhatian pada kualitas air. Nitrat

merupakan bentuk nitrogen yang teroksidasi dengan tingkat oksidasi +5. jika konsentrasi nitrat dalam air cukup besar, dapat dikatakan bahwa proses pencemaran air sudah berlangsung lama. Konsentrasi nitrat yang berlebihan/tinggi sangat berbahaya, terutama ibu-ibu yang sedang hamil karena dapat menyebabkan *methamoglobinemia* (bayi biru).

Kadar nitrat dapat bervariasi tergantung kondisi airnya. Diperairan bebas nitrat dapat berasal dari proses oksidasi nitrit atau limbah industri, pertanian dan buangan rumah tangga. Standar konsentrasi maksimum yang diperbolehkan untuk  $\text{NO}_3$  yang ditetapkan Dep. Kes. R.I. adalah 10 mg/l sedangkan menurut standar Internasional WHO, batas konsentrasi yang diterima adalah 45 mg/l, sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh US Public Health Service (*Ir. C. Totok Sutrisno dan Eni Suciaswati, 1987*).

## 2.16. Bakteri *Coli*

Golongan bakteri *coli*, merupakan jasad indikator didalam substrat air, bahan makanan dan sebagainya untuk kehadiran jasad berbahaya, yang mempunyai persamaan sifat: Gram negatif berbentuk batang, tidak membentuk spora dan mampu memfermentasikan kaldu laktosa pada temperatur  $37^\circ\text{C}$  dengan membentuk asam dan gas di dalam waktu 48 jam (*Unus Suriawiria, 1996*).

*Escherichia* sebagai salah satu contoh terkenal mempunyai beberapa spesies hidup di dalam saluran pencernaan makanan manusia dan hewan berdarah panas. *Escherichia coli* misalnya mula-mula diisolasi oleh escherich (1885) dari tinja bayi.

Pencernaan materi fekal tidak dikehendaki, baik ditinjau dari segi estetika, kebersihan, sanitasi maupun kemungkinan terjadinya infeksi yang berbahaya. Jika di dalam 100 ml terdapat 500 bakteri *coli*, memungkinkan terjadinya penyakit gastroenteritis yang segera diikuti oleh demam tifus *escherichia coli* pada keadaan tertentu dapat mengalahkan mekanisme pertahanan tubuh sehingga dapat tinggal di dalam ginjal dan hati, antara lain dapat menyebabkan diare, setimia, peritonistis, maningistis dan infeksi-infeksi lainnya.

Bakteri *E. Coli* (*coli tinja*) merupakan mikroorganisme indikator yang paling efisien karena bakteri tersebut selalu terdapat dalam tinja. Sebagai

mikroorganisme indikator bakteri ini mempunyai derajat resistensi yang lebih tinggi daripada bakteri pathogen yang berasal dari tinja.

Dengan demikian bila organisme indikator tersebut terdapat dalam sampel air, berarti air tersebut mengalami pencemaran dan kemungkinan besar bahwa air tersebut mengandung mikroorganisme pathogen. Sebaliknya jika bakteri indikator tidak ditemukan dalam sampel air, maka tidak ada pencemaran dan air tidak mengandung mikroorganisme pathogen.

Penentuan kualitas mikrobiologis air minum didasarkan terhadap kehadiran jasad indikator yang selalu ditemukan dalam tinja manusia maupun hewan berdarah panas baik yang sehat maupun yang tidak. Bakteri yang tinggal dalam usus tersebut biasa dikenal dengan nama *coliform*. Tes total *coliform* bakteri adalah suatu indikator utama terhadap sanitasi dan kesesuaian air minum untuk dikonsumsi (*Unus Suriawiria, 1996*).

Dimensi bakteri sulit ditentukan secara akurat, karena pertimbangan terjadinya proses penciutan selama preparasi dan pewarnaan. Berikut ukuran dari bakteri:

**Tabel 2.4 Ukuran Bakteri**

| Organisme              | Diameter ( $\mu m$ ) | Panjang ( $\mu m$ ) |
|------------------------|----------------------|---------------------|
| Francisella tularensia | 0.2                  | 0.3-0.7             |
| Brucella militensis    | 0.3                  | 0.3-1.0             |
| Escherichia coli       | 0.4-0.7              | 1.0-0.3             |
| Bacillus anthracis     | 1.0-1.3              | 3.0-10.0            |
| Staphylococcus aureus  | 0.8-1.0              |                     |
| Streptococcus pyogenes | 0.6-1.0              |                     |
| Sarcina ventriculi     | 3.5-4.0              |                     |

## 2.17. Metode Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan secara statistik. Sebagai alat yang berfungsi untuk mengolah suatu data, penjabaran metodologi statistik didasarkan pada tiga hal yakni proses analisis, asumsi bentuk distribusi dan banyaknya variabel yang dilibatkan. Metodologi statistik berdasarkan proses analisisnya meliputi analisa deskriptif dan analisis konfirmatif (inferensi) (*Achmad Z. S, 2005*).

### 2.17.1. Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif adalah statistik yang digunakan untuk menganalisa data dengan cara mendeskriptifkan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya, tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum. Statistik deskriptif memberikan informasi secara visual dan lebih bersifat subjektif dalam pembuatan analisisnya. Walaupun bersifat subjektif di dalam pengambilan keputusan, analisis deskriptif sering digunakan khususnya dalam memperhatikan perilaku data dan penentuan dugaan–dugaan yang selanjutnya akan diuji dalam analisis inferensi. Berikut ini adalah beberapa rumus yang biasa digunakan dalam statistik deskriptif.

#### a. Mean / Rataan Sampel ( $\bar{x}$ )

Rumus yang digunakan adalah (Sudjana, 2002):

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (\text{persamaan 4})$$

dimana:

$\bar{x}$  = rata – rata hitung dari sampel

$\sum x$  = total jumlah sampel

$n$  = banyaknya sampel

#### b. Simpangan Baku (s)

Rumus yang digunakan adalah (Sudjana, 2002):

$$s = \sqrt{\frac{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}{n(n-1)}} \quad (\text{persamaan 5})$$

dimana:

$s$  = standart deviasi yang dicari

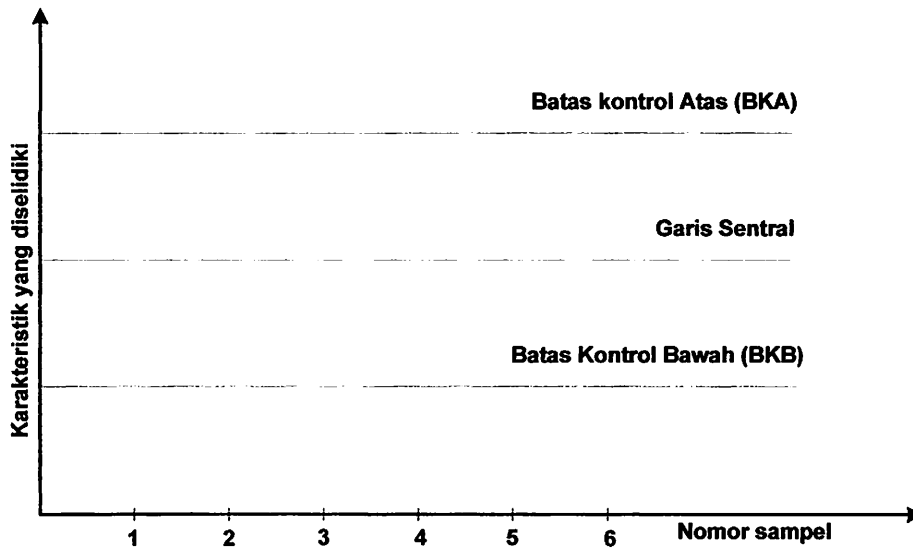
$\sum x$  = jumlah semua harga sampel

$n$  = banyaknya sampel

#### c. Keceragaman Data

Pengujian keceragaman data perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengolahan data. Pada pengujian keceragaman data ini data akan diuji apakah data yang terkumpul seragam dan selanjutnya mengidentifikasi data yang ekstrim. Data ekstrim yang dimaksud adalah data yang terlalu besar atau data yang terlalu kecil dan jauh menyimpang dari

trend rata-ratanya. Untuk memudahkan pengujian maka digunakan diagram kontrol *Shewhart* dengan contoh sebagai berikut:



Gambar 2.10 Diagram Kontrol *Shewhart*, (Sudjana, 2002)

Garis sentral melukiskan “nilai baku” yang akan menjadi pangkal perhitungan terjadinya penyimpangan hasil – hasil pengamatan untuk tiap sampel. Garis bawah yang sejajar dengan garis sentral dinamakan batas kontrol bawah (BKB). Ini merupakan penyimpangan paling rendah yang diijinkan dihitung dari “nilai baku”. Garis yang menyatakan penyimpangan paling tinggi dari “nilai baku” terdapat sejajar di atas sentral dan dinamakan batas kontrol atas (BKA). Rumus yang digunakan untuk mengetahui sentral, BKA dan BKB adalah (Sudjana, 2002):

$$\text{sentral} = \bar{x}$$

$$BKA = \bar{x} + K\bar{s}$$

$$BKB = \bar{x} - K\bar{s}$$

dimana:

$\bar{x}$  = Rata – rata harga sampel

$K$  = Index (tergantung dari tingkat kepercayaan yang diambil) untuk kepercayaan 95%, nilai  $K = 2$

$\bar{s}$  = Standart deviasi rata – rata

### 2.17.2. Statistik Inferensi

Statistik inferensi mencakup semua metode yang berhubungan dengan analisis data untuk kemudian sampai pada peramalan atau penarikan kesimpulan. Statistik inferensi dapat memberikan informasi lebih objektif terutama dalam proses pengambilan keputusan yang ditunjang dengan adanya nilai tingkat kesalahan pengukuran. Statistik inferensi selanjutnya akan dijabarkan kembali ke dalam penaksiran titik dan penaksiran selang dari suatu nilai parameter dan juga pengujian hipotesis dari suatu masalah. Beberapa analisa yang terdapat dalam statistik inferensi adalah sebagai berikut.

#### a. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui derajat hubungan antar variabel digunakan analisa korelasi. Ukuran yang dipakai untuk mengetahui derajat hubungan, terutama untuk data kuantitatif, dinamakan koefisien korelasi.

Koefisien korelasi dalah indeks atau bilangan yang digunakan untuk mengukur derajat hubungan, meliputi kekuatan hubungan dan bentuk/arrah hubungan. Nilai hubungan berada pada selang tertutup  $(-1,1)$ . Untuk membaca besarnya derajat keeratan dari hubungan terdapat dua hal yang harus diperhatikan, yakni:

- Lihat tanda dari derajat keeratan tersebut, positif atau negatif. Hubungan statistika kedua peubah akan negatif apabila salah satu variabel memiliki hubungan yang bertolak belakang dengan peubah lainnya. Atau dengan kata lain apabila nilai satu peubah membesar maka nilai peubah lainnya mengecil. Sedangkan hubungan statistika kedua peubah akan bernilai positif jika hubungan kedua peubah searah atau dengan kata lain apabila satu peubah membesar nilainya maka peubah lainnya ikut membesar, dan sebaliknya.
- Lihat besarnya nilai derajat keeratan. Untuk membaca nilai dari derajat keeratan dapat digunakan klasifikasi hubungan statistika dua peubah menurut *Guilford* berikut ini:

Tabel 2.5 Koefisien Korelasi *Guilford*

| Nilai Hubungan<br>Statistika dua Peubah | Keterangan                                  |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------|
| < 0,2                                   | Tidak terdapat hubungan antara kedua peubah |
| Antara 0,2 s/d 0,4                      | Hubungan kedua peubah lemah                 |
| Antara 0,4 s/d 0,7                      | Hubungan kedua peubah sedang                |
| Antara 0,7 s/d 0,9                      | Hubungan kedua peubah kuat                  |
| Antara 0,9 s/d 1                        | Hubungan kedua peubah sangat kuat           |

Sumber: Achmad Z. S, 2005

Sebagai catatan penting, nilai hubungan statistika dua peubah sama dengan “1” memiliki makna bahwa terdapat hubungan yang sempurna antara kedua peubah. Atau dengan kata lain, nilai suatu peubah dapat dengan tepat/pasti dijelaskan oleh peubah lainnya. Lain halnya dengan nilai statistika dua peubah sama dengan “0” menunjukkan tidak adanya hubungan diantara kedua peubah (Achmad Zanbar Soleh, 2005).

Untuk keperluan perhitungan koefisien korelasi berdasarkan sekumpulan data berukuran n dapat digunakan rumus (Sudjana, 2002):

$$r = \frac{n\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{\{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2\} \{n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2\}}}$$

dimana:

$r$  = koefisien korelasi

$x_i$  = variabel bebas

$y_i$  = variabel terikat

$n$  = jumlah data

**b. Analisa Regresi**

Analisa regresi adalah suatu analisa untuk menyatakan hubungan fungsional antara variabel – variabel ke dalam bentuk persamaan matematis. Untuk analisis regresi akan dibedakan dua jenis variabel ialah variabel bebas atau variabel prediktor dan variabel tak bebas atau variabel respon. Pembuatan persamaan matematis dimaksudkan untuk membantu peneliti didalam melihat pola atau karakteristik hubungan antara variabel bebas dengan variabel tak

bebas/terikat, bahkan biasanya digunakan untuk memprediksikan kondisi masa yang akan datang.

Jika variabel bebas dan variabel terikat yang terlibat dalam penelitian masing – masing hanya satu, maka dinamakan Regresi Linear Sederhana. Kemudian apabila hanya ada satu variabel terikat dan beberapa variabel bebas maka persamaan regresinya disebut Regresi Linear Berganda. Bentuk persamaan regresi secara umum adalah:

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + \dots + kX_n$$

dimana:

$Y$  = variabel terikat

$a$  = konstanta

$b$  = koefisien regresi

$X_1$  = variabel bebas

Pada analisa regresi juga diperlukan beberapa pengujian yaitu:

- o Uji F yang digunakan untuk mengetahui apakah persamaan regresi bisa dipakai untuk memprediksi variabel terikat.
- o Uji t digunakan untuk mengetahui signifikansi koefisien konstanta dan variabel bebas.

### c. Analisa Varian

Pengujian menggunakan analisa varian dalam statistika parametrik diantara kelompok yang saling memiliki perbedaan sebagai akibat adanya perlakuan, dilakukan dengan menggunakan *Analysis of Varian* (ANOVA). Uji ini dilakukan berdasarkan distribusi nilai F. Nilai F diperoleh dari rata – rata jumlah kuadrat (*mean square*) antar kelompok yang dibagi dengan rata – rata jumlah kuadrat dalam kelompok dengan rumus (Sudjana, 2002):

$$F = \frac{S_B^2}{S_W^2}$$

dimana:

$S_B^2$  = varians antar kelompok

$S_W^2$  = varians dalam kelompok

### **2.17.3. Generalisasi Dan Kesimpulan Analisis Data**

Generalisasi adalah penarikan suatu kesimpulan umum dari suatu analisis penelitian. Generalisasi yang dibuat harus berkaitan dengan teori yang mendasari penelitian yang dilakukan.

Generalisasi ini, dibuat setelah interpretasi data/penemuan yang telah dilakukan. Setelah generalisasi dibuat, selanjutnya dibuatkan kesimpulan-kesimpulan yang lebih khusus (terinci) dari penelitian berdasarkan generalisasi yang telah dibuat (*Hasan, M. Iqbal, 2002 dalam P. Juli Ni Ketut, 2005*).

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional, Malang. Dengan waktu persiapan penelitian lebih kurang 2 bulan dan waktu penelitian dilakukan pada tanggal 9 - 12 Juni 2006.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

##### **3.2.1 Alat-alat Penelitian**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Reaktor membran dengan skala laboratorium.
2. Reaktor *Roughing filter* aliran *upflow* dengan skala laboratorium (*pretreatment*).
3. Bak plastik besar 4 buah.
4. 6 buah *beaker glass*

##### **3.2.2 Reaktor *Roughing Filter* Aliran *Upflow* (*Pretreatment*)**

1. Bak Penampung Air

Berupa bak plastik dengan kapasitas  $\pm 50$  liter yang digunakan untuk menampung sampel air sungai yang akan diolah. Sampel air sungai dialirkan ke bak pengatur debit dengan menggunakan pompa dan pipa pvc ukuran  $\frac{1}{2}$  “.

2. Bak Pengatur Debit

Terbuat dari bak plastik dengan ketinggian (h) 2 m dan mempunyai kapasitas 40 liter yang berfungsi sebagai penampung air dan sebagai pengatur debit. Air sungai dialirkan secara gravitasi dengan menggunakan pipa pvc dilengkapi dengan kran untuk mengatur debit. Debit yang digunakan dalam penelitian ini 0,5 liter/menit.

3. *Roughing filter* aliran *upflow*

Terbuat dari plat besi dengan kapasitas 0,5 liter/menit yang mempunyai dimensi sebagai berikut:

- panjang : 10 cm
- lebar : 10 cm
- tinggi : 150 cm

4. Media *Roughing filter*

Media yang digunakan dalam roughing filter yaitu batu kapur dan batu kerikil. Dengan komposisi media, ketebalan 25 cm untuk batu kapur dan ketebalan 75 cm untuk batu kerikil, dimana diameter dari masing-masing media 19-22 mm. Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (*Kurniawati Devy Ari Sunday, 2006*) komposisi dengan media ini dapat menurunkan kekeruhan pada air sungai sebesar  $\pm 28 \%$ .

5. Bak Penampung Air

Bak penampung air yang digunakan terbuat dari bak plastik yang mempunyai kapasitas 5,5 liter.

6. Pompa jenis Aquarium Liquid Filter dengan spesifikasi :

- Merk Life Tech Ap 2800
- H max 2,3 m.
- F L max 1800 l/hr.
- Ac. 220 V/ 240V

### 3.2.3 Reaktor Membran

1. Reaktor membran terbuat dari bahan stainless stell dengan tinggi 10 cm dan diameter 43 mm
2. Pompa jenis water pump dengan spesifikasi :
  - Merk Big One Type Aj 250
  - Q max : 40 l/mnt
  - Suction L : 11 m
  - Disc. L max : 35 m
  - Size : 1'  $\times$  1'
  - Volt : 220
  - Out put : 250 watt
3. Pipa PVC diameter  $\frac{1}{2}$  " sesuai dengan kriteria pompa.
4. Kapasitas bak umpan 5,5 liter dengan debit yang digunakan sebesar 5 liter.

5. Membran *Cellulose nitrate* berbentuk plate bulat dengan dengan spesifikasi :
  - Merk Whatman (buatan Jerman)
  - Diameter : 47 mm
  - Ukuran pori : 0,2  $\mu$  m
  - Ketebalan : 125  $\mu$  m
  - Temperatur Maksimum 80°C
6. *Pressure gauge*.
7. kawat kasa ukuran 0,5 mm

### 3.2.4 Bahan Penelitian

1. Bongkahan batu kapur dengan diameter 19-22 mm
2. Bongkahan batu kerikil dengan diameter 19-22 mm
3. Sampel air sungai yang diambil dari aliran sungai brantas dengan titik pengambilan di daerah Oro-oro dowo Malang. Pada daerah ini banyak terdapat pemukiman penduduk dan daerah pertanian yang merupakan sumber terdapatnya nitrat dan *E. coli* pada sungai.

### 3.3 Variabel Penelitian

Beberapa variabel yang terdapat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variabel terikat
  - a) Kekeruhan (NTU)
  - b) Nitrat (mg/l)
  - c) Bakteri *coli* (jml/100ml)
2. Variabel tetap
  - a) Membran *Cellulose Nitrate*, dengan karakteristik :
    - Diameter membran : 47 mm
    - Ukuran pori : 0,2  $\mu$  m
    - Ketebalan : 125  $\mu$  m
    - Temperatur maksimum 80°C
  - b) Suhu (ruang) 23 – 27 °C
  - c) Operasional reaktor secara kontinyu dengan sistem aliran secara *dead-end*.

d) Reaktor *Roughing filter* aliran *upflow*.

3. Variabel bebas

- b) Tekanan aliran : 0.5 bar, 1 bar, 2 bar, dan 3 bar.
- c) Waktu pemakaian membran : selama 60 menit dengan pengambilan sample 10 menit ke-1 sampai dengan 10 menit ke-6.
- d) Ketebalan membran : Ketebalan 1 lembar 0,2  $\mu$  m dan ketebalan membran 3 lembar 0,2  $\mu$  m.

**3.4 Tahapan Penelitian**

Pada awal tahap penelitian dilakukan analisa pendahuluan untuk mengetahui kondisi awal air sungai yang akan diolah. Parameter yang dianalisa adalah kekeruhan, nitrat dan bakteri *coli*.

**3.4.1 Persiapan Media Penelitian**

Persiapan media pada *roughing filter* (*pretreatment*)

A. media batu kapur

- Menyiapkan batu kapur yang diperoleh dipasaran.
- Batu kapur yang berupa bongkahan dipecah-pecah sesuai dengan diameter yang diinginkan yaitu 19-22 mm.
- Batu kapur dicuci sampai bersih dan siap digunakan untuk media filter.

B. media batu kerikil

- Menyiapkan batu kerikil yang diperoleh dipasaran.
- Memilih batu kerikil sesuai dengan ukuran yang diinginkan yaitu diameter 19-22 mm.
- Mencuci batu kerikil sampai bersih dan siap digunakan untuk media filter.

**3.4.2 Pengoperasian Alat**

1. Operasional *Roughing Filter* Aliran *upflow* (*pretreatment*).

- a. Membuat alat *roughing filter* aliran *upflow* dengan skala laboratorium.

- b. Reaktor *roughing filter* aliran *upflow* diisi dengan media batu kerikil dengan ketebalan 75 cm dan batu kapur dengan ketebalan 25 cm.
- c. Air sampel dialirkan dari bak penampung air menuju bak pengatur debit dengan menggunakan pompa.
- d. Dari bak pengatur debit yang dilengkapi dengan kran dialirkan ke reaktor *roughing filter* aliran *upflow* yang telah diisi media batu kerikil dan batu kapur.
- e. Air keluar dari reaktor *roughing filter* kemudian ditampung dalam bak umpan untuk selanjutnya diseparaasi pada membran.

## 2. Operasional reaktor membran

- a. Menyiapkan reaktor membran.
- b. Air sungai dialirkan melalui pipa menuju membran dengan gaya dorong yang berasal dari pompa.
- c. Menjalankan proses sesuai dengan variabel tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran.
- d. *Permeate* yang merupakan produk dari proses mikrofiltrasi ditampung pada *beaker glass* dan diukur fluksnya.
- e. Mengambil sampel yang keluar sesuai dengan variabel untuk kemudian dilakukan analisa kekeruhan, nitrat dan bakteri *coli* dengan 3x pengulangan dan untuk mengetahui persentase rejeksinya (%R).

## 3.5 Analisa Parameter Uji

Dari percobaan yang telah dilakukan, parameter yang diukur adalah konsentrasi kekeruhan, nitrat dan bakteri *coli* serta fluks membran.

### 3.5.1 Pengukuran Fluks

Fluks membran adalah jumlah volume *permeate* yang melewati membran per satuan luas permukaan membran per satuan waktu dan ditunjukkan pada persamaan dibawah ini:

$$J_v = \frac{V}{A \times t}$$

Dimana:

$J_v$  = fluks ( $L/m^2$  jam)

$V$  = volume *permeate* (Liter)

$A$  = luas permukaan membran ( $m^2$ )

$t$  = waktu penyaringan (jam)

### 3.5.2 Analisa Kekeruhan

Untuk menganalisa parameter kekeruhan dilakukan dengan alat Turbidimeter. Prinsip pengukuran dengan cara ini adalah dengan membandingkan standar kekeruhan, yaitu larutan standar dengan kekeruhan 40 NTU dengan contoh air yang akan dianalisa kekeruhannya.

### 3.5.3. Analisa Nitrat ( $NO_3$ )

Ion nitrat direaksikan dengan brussin dalam larutan asam sulfat akan membentuk warna kuning dan belerang. Warna kuning yang terbentuk diukur serapannya dengan Spektrofotometer pada panjang gelombang 410 nm.

### 3.5.4. Analisa Bakteri *Coli*

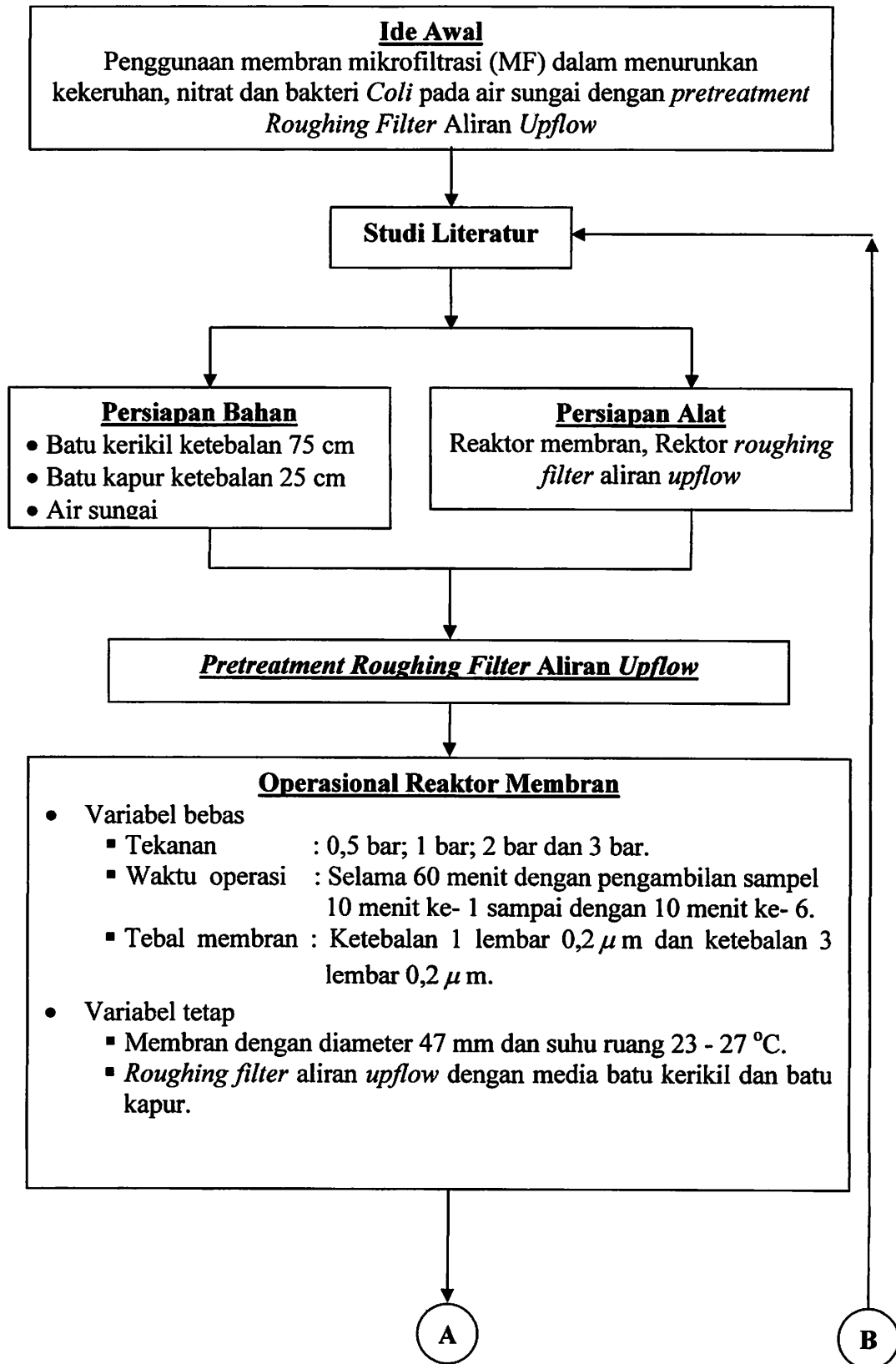
Metoda yang digunakan dengan metoda tabung fermentasi (MPN). Prinsip tes pertama dan ketiga adalah sifat bakteri yang berkembang biak dalam waktu 24 sampai 72 jam pada suhu tertentu (dalam inkubator) dan dalam suasana yang cocok yaitu pada sebuah media yang terdiri dari agar-agar (bahan yang netral) yang mengandung beberapa jenis zat kimia yang merupakan gizi bagi jenis bakteri tertentu serta dapat mengatur nilai pH.

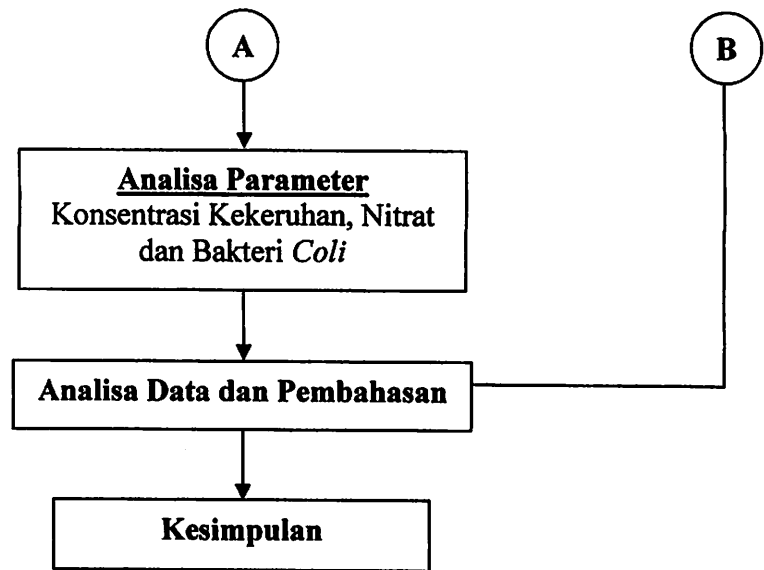
Prinsip tes kedua adalah sama dengan prinsip tes pertama, hanya bakteri tidak berkembang atas media (agar-agar) namun tersuspensi dalam kaldu (*broth media*) yang mengandung gizi bagi pertumbuhannya. Bakteri-bakteri tersebut dapat dideteksi karena jenis tersebut dapat meragikan (fermentasi) salah satu unsur zat gizi seperti laktosa yang akibat proses tersebut terbentuklah gas; gelembung-gelembung gas ini menunjukkan adanya bakteri tersebut.

### **3.6 Analisa Data**

Data yang digunakan adalah dengan replikasi ( $n = 3$ ). Data-data interval yang diperoleh, diolah dengan analisa varians (ANOVA) untuk menguji apakah terdapat perbedaan nilai rata-rata hitung yang signifikan dari penurunan kekeruhan, nitrat dan bakteri *coli* pada setiap tahap perlakuan. Untuk mengetahui hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat digunakan uji korelasi pearson. Setelah diketahui terdapat hubungan yang signifikan antar variabel yang bersangkutan (perlakuan variabel bebas terhadap variabel terikat) diperlukan uji analisa regresi untuk mengetahui ketepatan dan atau signifikansi prediksi dari hubungan/korelasi data.

### 3.7 Kerangka Penelitian





*Gambar 3.1 Kerangka Penelitian*

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Karakteristik Air Sungai

Air baku yang digunakan dalam penelitian diambil dari Sungai Brantas didaerah Oro-oro Dowo, Malang, yang mempunyai karakteristik seperti pada tabel 4.1:

**Tabel 4.1. Karakteristik Air Sungai**

| NO | Parameter     | Satuan         | Air Sungai Kali Brantas | KEPMENKES<br>NO<br>907/MENKES/SK/VII/2002 |
|----|---------------|----------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| 1  | pH            | -              | 6.32                    | 5-9                                       |
| 2  | Suhu          | <sup>0</sup> C | 23                      | Suhu udara $\pm 3$ <sup>0</sup> C         |
| 3  | Kekeruhan     | NTU            | 75.64                   | 5                                         |
| 4  | Nitrat        | mg/l           | 19.02                   | 10                                        |
| 5  | <i>E.Coli</i> | MPN/100ml      | 1700                    | 0                                         |

Sumber: Hasil Penelitian

Dari karakteristik diatas menunjukkan bahwa kualitas air tidak memenuhi standart kualitas untuk air baku (Kepmenkes No. 907/MENKES/SK/VII/2002) terutama untuk parameter kekeruhan, nitrat dan *E.Coli*.

#### 4.2. Pengolahan Pendahuluan Air Baku

Pengolahan pendahuluan (*pretreatment*) dilakukan dengan tujuan untuk menurunkan kandungan kontaminan yang terkandung dalam air baku sebelum menuju proses pengolahan lebih lanjut menggunakan teknologi membran. Pengolahan pendahuluan (*pretreatment*) yang dilakukan yaitu *Roughing Filter* aliran *upflow*.

##### 4.2.1. *Roughing filter* aliran *upflow*

Pada *roughing filter* terdiri dari 2 media yaitu batu kapur dan batu kerikil dengan ketinggian masing-masing 25 cm untuk batu kapur dan 75 cm untuk batu kerikil serta mempunyai diameter 19-22 mm.

Proses yang terjadi adalah air baku dipompakan menggunakan pompa aquarium lalu mengalir menuju bak pengatur debit, selanjutnya dari bak pengatur

debit yang dilengkapi dengan kran mengalir menuju *roughing filter* aliran *upflow*. Air yang keluar dari *roughing filter* ditampung secukupnya untuk dianalisa dan sisanya ditampung dalam bak umpan untuk selanjutnya diseparasi pada membran. Hasil analisa effluent *roughing filter* dapat dilihat pada table 4.2:

**Tabel 4.2. Data Effluent dan % Penyisihan RF**

| NO | PARAMETER | SATUAN    | AIR SUNGAI<br>KALI<br>BRANTAS | EFFLUENT<br>RF | %<br>REMOVAL |
|----|-----------|-----------|-------------------------------|----------------|--------------|
| 1  | Kekeruhan | NTU       | 75.64                         | 50.86          | 32.89        |
| 2  | Nitrat    | mg/L      | 19.02                         | 14.86          | 21.80        |
| 3  | E.Coli    | MPN/100ml | 1700                          | 1300           | 23.52        |

Sumber: Hasil Penelitian

Dari data diatas dapat dilihat bahwa *roughing filter* mempunyai kemampuan menurunkan kekeruhan, nitrat dan *E.Coli* dengan efisiensi penyisihan kekeruhan sebesar 32.89%, nitrat sebesar 21.80% dan *E.Coli* sebesar 23,52%. Kekeruhan dapat direduksi dengan baik hanya untuk material tersuspensi yang berukuran  $> 5 \mu m$  selebihnya dapat lolos dari pori media filter. Nitrat yang disebabkan oleh oksidasi bakteri jenis nitrobacter hanya sebagian kecil yang dapat tersaring sebab ukuran pori yang dimiliki oleh media filter lebih besar. Sementara *E.Coli* hanya dapat tereduksi 23,52% hal ini terjadi karena ukuran pori dari media *roughing filter* 0,43 mm sementara itu ukuran dari *E.coli* antara  $3-5 \mu m$  (Nassa, 2004) sehingga hanya sedikit saja *E.Coli* yang mampu tertahan pada *roughing filter*. Kecilnya efisiensi penyisihan pada media *roughing filter* disebabkan oleh diameter media yang digunakan besar. Semakin besar diameter media semakin kecil pula kemampuan untuk menyerap.

#### 4.3. Pengolahan Pada Membran Mikrofiltrasi (MF)

Proses pengolahan tahap selanjutnya adalah mengolah effluent *Roughing Filter* pada reaktor membran, dimana sistem kerjanya air sampel dari *roughing filter* dipompakan ke filter membran dengan variasi tekanan dan ketebalan membran yang telah ditentukan serta dilakukan pengambilan sample setiap 10 menit selama 1 jam. Kinerja membran dalam proses penyaringan dengan sistem *dead-end* selanjutnya dapat ditentukan dengan cara melihat nilai fluks yang

dihasilkan dan efisiensi penyisihan terhadap konsentrasi kekeruhan, nitrat dan *E.Coli*.

Fluks merupakan jumlah volume *permeate* (hasil filtrasi membran) yang melewati satu satuan luas membran dalam waktu tertentu (Scott, 1995). Nilai fluks dapat dihitung dengan persamaan 1:

$$J_v = \frac{V}{A \times t}$$

Dimana:

$J_v$  = fluks (L/m<sup>2</sup> jam)

$V$  = volume *permeate* (Liter)

$A$  = luas permukaan membran (m<sup>2</sup>)

$t$  = waktu penyaringan (jam)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka hasil perhitungan nilai fluks dapat dilihat pada tabel 4.3 dan data konsentrasi akhir kekeruhan, nitrat dan *E.Coli* setelah diproses pada membran dengan variasi tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran dapat dilihat pada tabel 4.4, 4.5 dan tabel 4.6.

**Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Fluks Membran**

| Tekanan<br>(Bar) | Ketebalan<br>(Lembar 0,2<br>µm) | Waktu<br>(menit) | Fluks L/m <sup>2</sup> .jam) |         |         | Rata-<br>Rata | Fluks<br>Total |
|------------------|---------------------------------|------------------|------------------------------|---------|---------|---------------|----------------|
|                  |                                 |                  | I                            | II      | III     |               |                |
| 0.5              | 1                               | 10               | 5409.77                      | 5443.74 | 5435.24 | 5429.58       | 352913,4       |
|                  |                                 | 20               | 2250.53                      | 2267.52 | 2292.99 | 2270.35       |                |
|                  |                                 | 30               | 1647.56                      | 1690.02 | 1639.07 | 1658.88       |                |
|                  |                                 | 40               | 1265.39                      | 1248.41 | 1248.41 | 1254.07       |                |
|                  |                                 | 50               | 1112.53                      | 1095.54 | 1112.53 | 1106.86       |                |
|                  |                                 | 60               | 1002.12                      | 968.15  | 985.14  | 985.14        |                |
| 1                | 1                               | 10               | 7210.19                      | 7235.67 | 7227.18 | 7224.35       | 414641,8       |
|                  |                                 | 20               | 2454.35                      | 2437.37 | 2437.37 | 2443.03       |                |
|                  |                                 | 30               | 1783.44                      | 1749.47 | 1774.95 | 1769.29       |                |
|                  |                                 | 40               | 1299.36                      | 1333.33 | 1307.86 | 1313.52       |                |
|                  |                                 | 50               | 1154.99                      | 1154.99 | 1163.48 | 1157.82       |                |
|                  |                                 | 60               | 1019.11                      | 1027.60 | 1010.62 | 1019.11       |                |
| 2                | 1                               | 10               | 9002.12                      | 8993.63 | 9002.12 | 8999.29       | 538885         |
|                  |                                 | 20               | 3244.16                      | 3235.67 | 3235.67 | 3238.50       |                |
|                  |                                 | 30               | 2335.46                      | 2318.47 | 2343.95 | 2332.63       |                |
|                  |                                 | 40               | 1868.37                      | 1859.87 | 1842.89 | 1857.04       |                |
|                  |                                 | 50               | 1562.63                      | 1571.13 | 1545.65 | 1559.80       |                |
|                  |                                 | 60               | 1409.77                      | 1418.26 | 1409.77 | 1412.60       |                |
| 3                | 1                               | 10               | 9978.77                      | 9978.77 | 9961.78 | 9973.11       | 654321         |
|                  |                                 | 20               | 4110.40                      | 4118.90 | 4110.40 | 4113.23       |                |

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

|     |   |    |         |         |         |         |          |
|-----|---|----|---------|---------|---------|---------|----------|
|     |   | 30 | 3133.76 | 3116.77 | 3091.30 | 3113.94 |          |
|     |   | 40 | 2437.37 | 2454.35 | 2462.85 | 2451.52 |          |
|     |   | 50 | 2080.68 | 2055.20 | 2080.68 | 2072.19 |          |
|     |   | 60 | 1825.90 | 1834.39 | 1834.39 | 1831.56 |          |
| 0.5 | 3 | 10 | 3388.54 | 3397.03 | 3414.01 | 3399.86 | 229535,3 |
|     |   | 20 | 1511.68 | 1511.68 | 1528.66 | 1517.34 |          |
|     |   | 30 | 1087.05 | 1078.56 | 1061.57 | 1075.73 |          |
|     |   | 40 | 866.24  | 849.26  | 840.76  | 852.09  |          |
|     |   | 50 | 755.84  | 730.36  | 738.85  | 741.68  |          |
|     |   | 60 | 687.90  | 662.42  | 679.41  | 676.57  |          |
| 1   | 3 | 10 | 4322.72 | 4348.20 | 4339.70 | 4336.87 | 267751,8 |
|     |   | 20 | 1647.56 | 1656.05 | 1647.56 | 1650.39 |          |
|     |   | 30 | 1104.03 | 1112.53 | 1112.53 | 1109.70 |          |
|     |   | 40 | 951.17  | 959.66  | 951.17  | 954.00  |          |
|     |   | 50 | 857.75  | 840.76  | 849.26  | 849.26  |          |
|     |   | 60 | 730.36  | 747.35  | 738.85  | 738.85  |          |
| 2   | 3 | 10 | 5180.47 | 5197.45 | 5180.47 | 5186.13 | 321223,6 |
|     |   | 20 | 2046.71 | 2072.19 | 2046.71 | 2055.20 |          |
|     |   | 30 | 1477.71 | 1469.21 | 1443.74 | 1463.55 |          |
|     |   | 40 | 1129.51 | 1121.02 | 1146.50 | 1132.34 |          |
|     |   | 50 | 900.21  | 908.70  | 891.72  | 900.21  |          |
|     |   | 60 | 823.78  | 828.03  | 828.03  | 826.61  |          |
| 3   | 3 | 10 | 5685.77 | 5656.05 | 5656.05 | 5665.96 | 374656   |
|     |   | 20 | 2539.28 | 2522.29 | 2522.29 | 2527.95 |          |
|     |   | 30 | 1876.86 | 1842.89 | 1902.34 | 1874.03 |          |
|     |   | 40 | 1333.33 | 1367.30 | 1358.81 | 1353.15 |          |
|     |   | 50 | 1104.03 | 1095.54 | 1087.05 | 1095.54 |          |
|     |   | 60 | 959.66  | 985.14  | 968.15  | 970.98  |          |

Sumber: Hasil Penelitian

Tabel 4.4 Nilai Konsentrasi Kekerusuhan Setelah Proses Membran

| Tekanan<br>(Bar) | Ketebalan<br>(Lembar 0,2 µm) | Waktu<br>(menit) | Konsentrasi Kekerusuhan<br>(NTU) |      |      | Rata-<br>Rata |
|------------------|------------------------------|------------------|----------------------------------|------|------|---------------|
|                  |                              |                  | I                                | II   | III  |               |
| 0.5              | 1                            | 10               | 13.4                             | 13.5 | 13.4 | 13.43         |
|                  |                              | 20               | 12.9                             | 13.1 | 13   | 13.00         |
|                  |                              | 30               | 12.5                             | 12.6 | 12.4 | 12.50         |
|                  |                              | 40               | 11.9                             | 11.8 | 11.8 | 11.83         |
|                  |                              | 50               | 11                               | 11.1 | 11.2 | 11.10         |
|                  |                              | 60               | 9.8                              | 10   | 10   | 9.93          |
|                  |                              | 10               | 8.7                              | 8.7  | 8.6  | 8.67          |
|                  |                              | 20               | 8.1                              | 8.2  | 8    | 8.10          |
|                  |                              | 30               | 7.8                              | 7.7  | 7.7  | 7.73          |
|                  |                              | 40               | 7.3                              | 7.1  | 7.4  | 7.27          |
| 1                | 1                            | 50               | 6.6                              | 6.4  | 6.5  | 6.50          |
|                  |                              | 60               | 5.8                              | 5.9  | 5.9  | 5.87          |
|                  |                              | 10               | 6                                | 6.1  | 6.3  | 6.13          |
|                  |                              | 20               | 5.6                              | 5.5  | 5.5  | 5.53          |
|                  |                              | 30               | 4.5                              | 4.7  | 4.6  | 4.60          |
| 2                | 1                            | 40               | 4.2                              | 4.1  | 4.1  | 4.13          |
|                  |                              | 50               | 3.6                              | 3.6  | 3.5  | 3.57          |
|                  |                              | 60               | 2.8                              | 2.8  | 2.6  | 2.73          |
|                  |                              | 10               | 5.4                              | 5.5  | 5.3  | 5.40          |
|                  |                              | 20               | 4.9                              | 5    | 4.8  | 4.90          |
| 3                | 1                            | 30               | 3.9                              | 3.8  | 3.9  | 3.87          |
|                  |                              | 40               | 3.3                              | 3.4  | 3.4  | 3.37          |
|                  |                              | 50               | 3                                | 2.9  | 3.1  | 3.00          |
|                  |                              | 60               | 2.4                              | 2.3  | 2.4  | 2.37          |
|                  |                              | 10               | 10.7                             | 10.8 | 10.7 | 10.73         |
| 0.5              | 3                            | 20               | 10.4                             | 10.5 | 10.3 | 10.40         |
|                  |                              | 30               | 10.2                             | 10.1 | 10.1 | 10.13         |
|                  |                              | 40               | 9.5                              | 9.4  | 9.6  | 9.50          |
|                  |                              | 50               | 8.5                              | 8.5  | 8.6  | 8.53          |
|                  |                              | 60               | 7.7                              | 7.6  | 7.7  | 7.67          |
| 1                | 3                            | 10               | 5.6                              | 5.5  | 5.6  | 5.37          |
|                  |                              | 20               | 5                                | 5.3  | 5.1  | 5.13          |
|                  |                              | 30               | 4                                | 4.1  | 4.2  | 4.10          |
|                  |                              | 40               | 3.6                              | 3.7  | 3.7  | 3.67          |
|                  |                              | 50               | 3                                | 3.1  | 3.2  | 3.10          |
| 2                | 3                            | 60               | 1.9                              | 1.8  | 2    | 1.90          |
|                  |                              | 10               | 3                                | 3.2  | 3    | 3.07          |
|                  |                              | 20               | 2.7                              | 2.8  | 2.7  | 2.73          |
|                  |                              | 30               | 2.1                              | 2.3  | 2.2  | 2.20          |
|                  |                              | 40               | 1.8                              | 1.9  | 1.9  | 1.87          |
| 3                | 3                            | 50               | 1.5                              | 1.4  | 1.4  | 1.43          |
|                  |                              | 60               | 1                                | 1.2  | 1.1  | 1.10          |
|                  |                              | 10               | 2.2                              | 2    | 2.4  | 2.20          |
|                  |                              | 20               | 1.4                              | 1.4  | 1.5  | 1.43          |
|                  |                              | 30               | 1.3                              | 1.3  | 1.4  | 1.33          |
|                  |                              | 40               | 1.1                              | 1.2  | 1.2  | 1.17          |

|  |  |    |     |     |     |      |
|--|--|----|-----|-----|-----|------|
|  |  | 50 | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 0.83 |
|  |  | 60 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.67 |

Sumber: Hasil Penelitian

**Tabel 4.5 Nilai Konsentrasi Nitrat Setelah Proses Membran**

| Tekanan<br>(Bar) | Ketebalan<br>(Lembar 0,2 µm) | Waktu<br>(menit) | Konsentrasi Nitrat (mg/l) |       |       | Rata-<br>Rata |
|------------------|------------------------------|------------------|---------------------------|-------|-------|---------------|
|                  |                              |                  | I                         | II    | III   |               |
| 0.5              | 1                            | 10               | 6.394                     | 6.252 | 6.299 | 6.315         |
|                  |                              | 20               | 5.832                     | 5.785 | 5.972 | 5.863         |
|                  |                              | 30               | 5.832                     | 5.785 | 5.693 | 5.770         |
|                  |                              | 40               | 5.693                     | 5.554 | 5.785 | 5.677         |
|                  |                              | 50               | 5.370                     | 5.416 | 5.324 | 5.370         |
|                  |                              | 60               | 4.777                     | 4.822 | 4.867 | 4.822         |
| 1                | 1                            | 10               | 4.058                     | 4.148 | 4.014 | 4.073         |
|                  |                              | 20               | 3.616                     | 3.572 | 3.660 | 3.616         |
|                  |                              | 30               | 3.222                     | 3.397 | 3.353 | 3.324         |
|                  |                              | 40               | 3.222                     | 3.135 | 3.092 | 3.150         |
|                  |                              | 50               | 3.005                     | 2.918 | 3.005 | 2.976         |
|                  |                              | 60               | 2.703                     | 2.531 | 2.789 | 2.674         |
| 2                | 1                            | 10               | 3.440                     | 3.397 | 3.572 | 3.470         |
|                  |                              | 20               | 3.266                     | 3.135 | 3.353 | 3.251         |
|                  |                              | 30               | 2.962                     | 2.962 | 3.048 | 2.990         |
|                  |                              | 40               | 2.703                     | 2.746 | 2.703 | 2.717         |
|                  |                              | 50               | 2.403                     | 2.746 | 2.403 | 2.517         |
|                  |                              | 60               | 1.852                     | 2.020 | 1.936 | 1.936         |
| 3                | 1                            | 10               | 2.918                     | 2.832 | 2.918 | 2.889         |
|                  |                              | 20               | 2.488                     | 2.488 | 2.445 | 2.474         |
|                  |                              | 30               | 1.978                     | 2.063 | 1.978 | 2.006         |
|                  |                              | 40               | 1.725                     | 1.683 | 1.725 | 1.711         |
|                  |                              | 50               | 1.600                     | 1.516 | 1.558 | 1.558         |
|                  |                              | 60               | 1.018                     | 1.059 | 1.101 | 1.059         |
| 0.5              | 3                            | 10               | 5.140                     | 5.278 | 5.049 | 5.156         |
|                  |                              | 20               | 4.822                     | 4.867 | 4.777 | 4.822         |
|                  |                              | 30               | 4.506                     | 4.551 | 4.551 | 4.536         |
|                  |                              | 40               | 4.058                     | 3.970 | 4.014 | 4.014         |
|                  |                              | 50               | 3.660                     | 3.660 | 3.748 | 3.690         |
|                  |                              | 60               | 3.179                     | 3.179 | 3.309 | 3.222         |
| 1                | 3                            | 10               | 3.970                     | 3.925 | 3.925 | 3.940         |
|                  |                              | 20               | 3.616                     | 3.572 | 3.660 | 3.616         |
|                  |                              | 30               | 3.266                     | 3.179 | 3.222 | 3.222         |
|                  |                              | 40               | 2.962                     | 2.962 | 3.005 | 2.976         |
|                  |                              | 50               | 2.488                     | 2.574 | 2.531 | 2.531         |
|                  |                              | 60               | 1.936                     | 1.936 | 2.063 | 1.978         |
| 2                | 3                            | 10               | 3.309                     | 3.397 | 3.353 | 3.353         |
|                  |                              | 20               | 2.918                     | 2.962 | 2.962 | 2.947         |
|                  |                              | 30               | 2.660                     | 2.660 | 2.746 | 2.688         |
|                  |                              | 40               | 2.360                     | 2.317 | 2.275 | 2.317         |
|                  |                              | 50               | 2.020                     | 1.978 | 1.894 | 1.964         |

|   |   |    |       |       |       |       |
|---|---|----|-------|-------|-------|-------|
|   |   | 60 | 1.433 | 1.308 | 1.266 | 1.336 |
| 3 | 3 | 10 | 2.746 | 2.875 | 2.617 | 2.746 |
|   |   | 20 | 2.190 | 2.317 | 2.147 | 2.218 |
|   |   | 30 | 1.978 | 2.020 | 2.063 | 2.020 |
|   |   | 40 | 1.725 | 1.683 | 1.683 | 1.697 |
|   |   | 50 | 1.308 | 1.225 | 1.308 | 1.280 |
|   |   | 60 | 0.771 | 0.812 | 0.730 | 0.771 |

Sumber: Hasil Penelitian

Tabel 4.6 Jumlah *E.Coli* Setelah Proses Membran

| Tekanan<br>(Bar) | Ketebalan<br>(Lembar 0,2 µm ) | Waktu<br>(menit) | Jumlah <i>E.Coli</i><br>(coli/100ml) |     |     | Rata-<br>Rata |
|------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------------|-----|-----|---------------|
|                  |                               |                  | I                                    | II  | III |               |
| 0.5              | 1                             | 10               | 110                                  | 115 | 110 | 111.67        |
|                  |                               | 20               | 90                                   | 90  | 95  | 91.67         |
|                  |                               | 30               | 80                                   | 85  | 80  | 81.67         |
|                  |                               | 40               | 70                                   | 70  | 75  | 71.67         |
|                  |                               | 50               | 65                                   | 60  | 65  | 63.33         |
|                  |                               | 60               | 65                                   | 55  | 65  | 61.67         |
| 1                | 1                             | 10               | 85                                   | 85  | 90  | 86.67         |
|                  |                               | 20               | 70                                   | 70  | 75  | 71.67         |
|                  |                               | 30               | 61                                   | 60  | 60  | 60.33         |
|                  |                               | 40               | 55                                   | 50  | 55  | 53.33         |
|                  |                               | 50               | 40                                   | 45  | 40  | 41.67         |
|                  |                               | 60               | 30                                   | 30  | 35  | 31.67         |
| 2                | 1                             | 10               | 60                                   | 60  | 65  | 61.67         |
|                  |                               | 20               | 58                                   | 55  | 55  | 56.00         |
|                  |                               | 30               | 45                                   | 40  | 40  | 41.67         |
|                  |                               | 40               | 37                                   | 35  | 35  | 35.67         |
|                  |                               | 50               | 25                                   | 20  | 20  | 21.67         |
|                  |                               | 60               | 15                                   | 10  | 15  | 13.33         |
| 3                | 1                             | 10               | 40                                   | 45  | 45  | 43.33         |
|                  |                               | 20               | 39                                   | 35  | 35  | 35.00         |
|                  |                               | 30               | 30                                   | 30  | 25  | 28.33         |
|                  |                               | 40               | 20                                   | 20  | 15  | 18.33         |
|                  |                               | 50               | 10                                   | 10  | 15  | 11.67         |
|                  |                               | 60               | 5                                    | 5   | 3   | 4.33          |
| 0.5              | 3                             | 10               | 80                                   | 80  | 75  | 78.33         |
|                  |                               | 20               | 70                                   | 65  | 65  | 66.67         |
|                  |                               | 30               | 50                                   | 50  | 55  | 51.67         |
|                  |                               | 40               | 40                                   | 40  | 45  | 41.67         |
|                  |                               | 50               | 35                                   | 30  | 30  | 31.67         |
|                  |                               | 60               | 25                                   | 20  | 20  | 21.67         |
| 1                | 3                             | 10               | 55                                   | 50  | 51  | 52.00         |
|                  |                               | 20               | 50                                   | 50  | 45  | 48.33         |
|                  |                               | 30               | 40                                   | 40  | 44  | 41.33         |
|                  |                               | 40               | 34                                   | 35  | 30  | 33.00         |
|                  |                               | 50               | 25                                   | 25  | 20  | 23.33         |
|                  |                               | 60               | 15                                   | 10  | 10  | 11.67         |

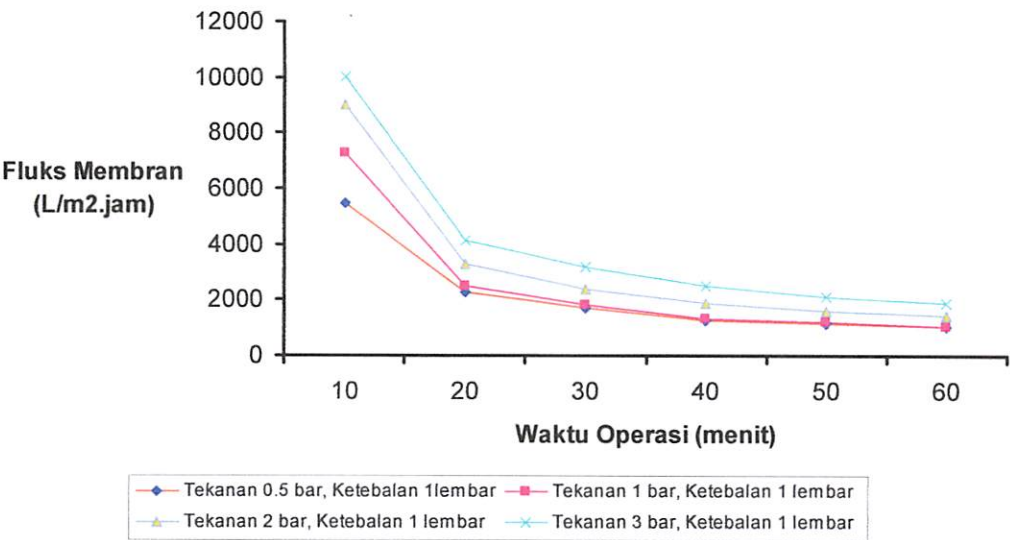
|   |   |    |    |    |    |       |
|---|---|----|----|----|----|-------|
| 2 | 3 | 10 | 40 | 40 | 42 | 40.67 |
|   |   | 20 | 35 | 35 | 30 | 33.33 |
|   |   | 30 | 30 | 20 | 25 | 25.00 |
|   |   | 40 | 20 | 20 | 25 | 21.67 |
|   |   | 50 | 10 | 10 | 15 | 11.67 |
|   |   | 60 | 5  | 5  | 1  | 3.67  |
| 3 | 3 | 10 | 35 | 35 | 30 | 33.33 |
|   |   | 20 | 25 | 20 | 24 | 23.00 |
|   |   | 30 | 20 | 20 | 15 | 18.33 |
|   |   | 40 | 15 | 15 | 10 | 13.33 |
|   |   | 50 | 10 | 5  | 5  | 6.67  |
|   |   | 60 | 1  | 1  | 0  | 0.67  |

(sumber: Hasil Penelitian)

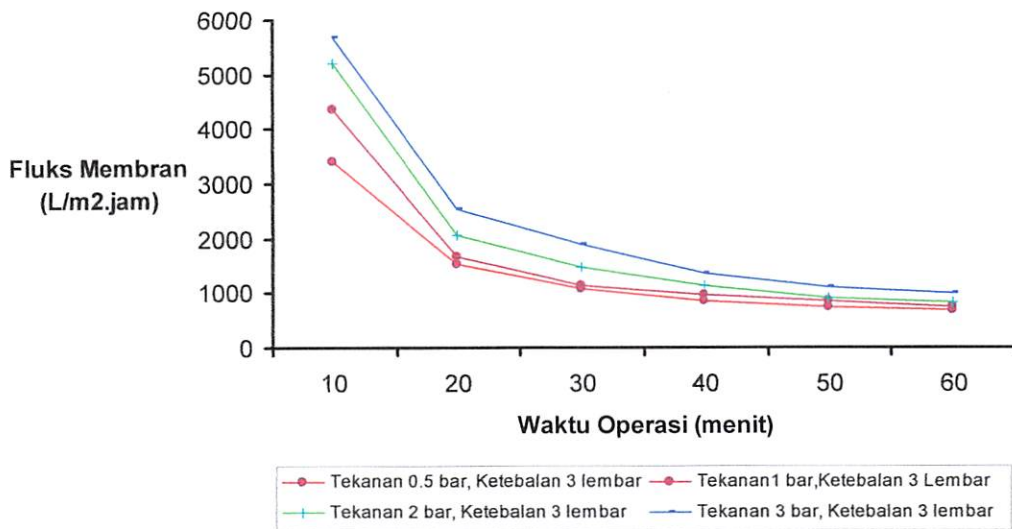
4.4. Analisa Fluks Pada Membran Mikrofiltrasi

4.4.1. Analisa Deskriptif

Hasil perhitungan pada tabel 4.3 menunjukkan bahwa nilai fluks meningkat seiring bertambah besarnya tekanan. Namun nilai fluks juga mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu operasi dan ketebalan membran. Hasil perhitungan pada tabel 4.3 diplotkan ke dalam grafik seperti pada gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Fluks dan Waktu Operasi Membran Pada Berbagai Tekanan Dengan Ketebalan 1 Lembar 0,2  $\mu\text{m}$



**Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Fluks dan Waktu Operasi Membran Pada Berbagai Tekanan Dengan Ketebalan 3 Lembar  $0,2 \mu m$ .**

Berdasarkan gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan bahwa nilai fluks pada berbagai tekanan dengan ketebalan 1 lembar  $0,2 \mu m$  lebih besar dibandingkan nilai fluks pada berbagai tekanan dengan ketebalan 3 lembar  $0,2 \mu m$  dimana nilai fluks tertinggi terjadi pada tekanan 3 bar ketebalan 1 lembar  $0,2 \mu m$ , pada menit ke-10 sebesar  $9973,11 \text{ L/m}^2.\text{jam}$  dan pada menit ke-60 sebesar  $1831,56 \text{ L/m}^2.\text{jam}$  (fluks total  $654321 \text{ L/m}^2.\text{jam}$ ). Sedangkan nilai fluks terendah terjadi pada tekanan 0,5 bar ketebalan 3 lembar  $0,2 \mu m$ , pada menit ke-10 sebesar  $3399.86 \text{ L/m}^2.\text{jam}$  dan pada menit ke-60 sebesar  $676,57 \text{ L/m}^2.\text{jam}$  (fluks total  $229535,3 \text{ L/m}^2.\text{jam}$ ). Nilai fluks mengalami penurunan secara drastis pada menit ke-10 menuju menit ke-20, seperti terlihat pada tekanan 3 bar ketebalan 1 lembar  $0,2 \mu m$  memiliki nilai  $9973,11 \text{ L/m}^2.\text{jam}$  pada menit ke-10 dan nilai fluks langsung turun menjadi  $4113,23 \text{ L/m}^2.\text{jam}$  pada menit ke-20.

#### 4.4.2 Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh berbagai perlakuan terhadap nilai fluks, maka dilakukan analisa dengan menggunakan uji ANOVA satu faktor. Untuk dapat menggunakan uji ANOVA, diperlukan terlebih dahulu pengujian kesamaan variansi. Hal ini dilakukan agar kehomogenan nilai data antar peubah acak dapat dipastikan hampir sama sehingga layak untuk diamati kesamaan

perilaku antar peubah acak tadi (*Ahmad Z., 2005*). Hasil uji kesamaan variansi dapat dilihat pada tabel 4.7.

**Tabel 4.7 Hasil Uji Kesamaan Variansi**

| Test of Homogeneity of Variances |     |     |      |
|----------------------------------|-----|-----|------|
| Fluks                            |     |     |      |
| Levene Statistic                 | df1 | df2 | Sig. |
| 1.912                            | 3   | 140 | .130 |

Hipotesis hasil uji kesamaan variansi:

- $H_0$  = Ke-48 varians perlakuan adalah identik.
- $H_1$  = Ke-48 varians perlakuan adalah tidak identik.

Dasar pengambilan keputusan:

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Keputusan:

Terlihat bahwa pada tabel 4.7 nilai probabilitas untuk fluks 0,130. Oleh karena probabilitas ke-48 fluks  $> 0,05$ , maka  $H_0$  diterima. Atau, ke-48 varians populasi adalah sama. Dengan demikian, asumsi kesamaan varians untuk uji ANOVA sudah terpenuhi. Artinya pengulangan tiga kali yang dilakukan untuk mengukur nilai fluks pada masing-masing perlakuan dan dilakukan pengrata-rataan, kemudian nilai rata-rata tersebut dianggap mewakili dari nilai fluks masing-masing perlakuan tersebut.

Setelah ke-48 varians perlakuan terbukti sama, baru dilakukan uji ANOVA untuk menguji apakah ke-48 perlakuan mempunyai rata-rata (*mean*) yang sama. Sebagai indikator adalah jika nilai rata-rata ke-48 perlakuan sama atau identik, maka variabel tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran dapat dikatakan tidak mempengaruhi nilai fluks. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Uji ANOVA Nilai Fluks

| Source    | DF  | SS        | MS       | F        | P     |
|-----------|-----|-----------|----------|----------|-------|
| Perlakuan | 47  | 618497336 | 13159518 | 62922.55 | 0.000 |
| Error     | 96  | 20077     | 209      |          |       |
| Total     | 143 | 618517413 |          |          |       |

Hipotesis hasil uji ANOVA:

- $H_0$  = Ke-48 perlakuan adalah identik.
- $H_1$  = Ke-48 perlakuan adalah tidak identik.

Dasar pengambilan keputusan:

Berdasarkan pada perbandingan F hitung dengan F tabel.

- Jika statistik hitung (angka F *output*) > statistik tabel (tabel F),  $H_0$  ditolak.
- Jika statistik hitung (angka F *output*) < statistik tabel (tabel F),  $H_0$  diterima.

Keputusan:

Berdasarkan tabel 4.8 nilai F hitung adalah 62922,55. Jika dilihat F hitung pada tabel F adalah 1,49 dengan  $\alpha$  toleransi 5% atau 0,05. Karena nilai F hitung *output* lebih besar dari F hitung tabel, maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal ( $H_0$ ) dan menerima hipotesis  $H_1$  yaitu ke-48 perlakuan memiliki rata-rata yang tidak identik. Kesimpulannya adalah bahwa nilai rata-rata ke-48 perlakuan dipengaruhi oleh nilai variabel tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran.

4.4.3 Analisa Korelasi

Untuk mengetahui tingkat kekuatan hubungan antara variabel terikat (nilai fluks) dengan variabel bebas (tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran), maka digunakan analisa korelasi. Hasil analisa korelasi dapat ditampilkan pada tabel 4.9.

**Tabel 4.9 Korelasi antara nilai fluks Dengan Tekanan, Waktu Operasi dan Ketebalan Membran**

|             |                     | Tekanan (Bar) | Waktu Operasi (mnt) | Ketebalan Membran (lembar) |
|-------------|---------------------|---------------|---------------------|----------------------------|
| Nilai Fluks | Pearson correlation | 0,641         | -0,757              | -0,704                     |
|             | P-Value             | 0,001         | 0,000               | 0,001                      |

Dari tabel 4.9 menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara variabel dapat diketahui dari koefisien korelasi dengan penjelasan sebagai berikut:

- o Nilai koefisien korelasi antara nilai fluks dengan variasi tekanan adalah 0,641. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara kedua variabel sedang karena berada diantara 0,4 dengan 0,7 (*Achmad Z. S, 2005*). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan tidak adanya nilai negatif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin besar tekanannya maka nilai fluks yang dihasilkan meningkat pula. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- $H_0$  = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- $H_1$  = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.9 memperlihatkan bahwa nilai probabilitas adalah 0,001. Karena nilai P lebih kecil dari  $\alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ), maka  $H_0$  ditolak dan menerima hipotesis alternatif ( $H_1$ ) yang menyatakan ada korelasi antara dua variabel (signifikan). Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah 64,1% peningkatan nilai fluks dipengaruhi oleh variasi tekanan.

- o Nilai koefisien korelasi antara nilai fluks dengan variasi waktu operasi adalah -0,757. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara kedua variabel kuat karena berada diantara 0,7 dengan 0,9 (*Achmad Z. S, 2005*). Hubungan

kedua variabel bertolakbelakang hal ini ditunjukkan dengan adanya tanda negatif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin lama waktu operasi maka nilai fluks yang dihasilkan akan semakin menurun. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- $H_0$  = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- $H_1$  = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.9 memperlihatkan bahwa nilai probabilitas adalah 0,000. Karena nilai P lebih kecil dari  $\alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ), maka  $H_0$  ditolak dan menerima hipotesis alternatif ( $H_1$ ) yang menyatakan ada korelasi antara dua variabel (signifikan). Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah 75,7% penurunan nilai fluks pada masing-masing tekanan dan ketebalan membran dipengaruhi oleh waktu operasi.

- Nilai koefisien korelasi antara nilai fluks dengan ketebalan membran adalah - 0,704. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara kedua variabel kuat karena berada diantara 0,7 dengan 0,9 (*Achmad Z. S, 2005*). Hubungan kedua variabel bertolakbelakang hal ini ditunjukkan dengan adanya tanda negatif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin tebal membran maka nilai fluks yang dihasilkan akan semakin menurun pula. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- $H_0$  = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- $H_1$  = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.9 memperlihatkan bahwa nilai probabilitas adalah 0,001. Karena nilai P lebih kecil dari  $\alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ), maka  $H_0$  ditolak dan menerima hipotesis alternatif ( $H_1$ ) yang menyatakan ada korelasi antara dua variable (signifikan). Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah 70,4% penurunan nilai fluks pada masing-masing tekanan dan waktu operasi dipengaruhi oleh ketebalan membran.

#### 4.4.4 Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikansi prediksi dari hubungan/korelasi data. Taksiran paramater model yang digunakan adalah regresi berganda, karena memiliki lebih dari 1 variabel bebas. Hasil analisa tersebut dapat dilihat pada tabel 4.10.

**Tabel 4.10 Koefisien Persamaan Regresi Nilai Fluks**

| Predictor                  | Coef     | SE Coef | T      | P     | VIF |
|----------------------------|----------|---------|--------|-------|-----|
| Constant                   | 7694.9   | 421.5   | 18.65  | 0,000 |     |
| Tekanan (Bar)              | 823.6    | 134.2   | 6.13   | 0,000 | 1.0 |
| Waktu Operasi (mnt)        | -133.796 | 7.844   | -17.06 | 0,000 | 1.0 |
| Ketebalan Membran (lembar) | -1008.1  | 1335    | -7.55  | 0,000 | 1.0 |

S = 30.2519    R-Sq = 73.5%    R-Sq(adj) = 72.9%

##### 1. Uji multikolinear

Multikolinear adalah kejadian adanya korelasi kuat antarvariabel prediktor. Jika antarvariabel prediktor berkorelasi, maka taksiran parameter model tidak tepat (Nur I. dan Septin P.A., 2006). Untuk mengidentifikasi adanya multikolinear maka digunakan *Variance Inflation Factor* (VIF). Apabila  $VIF > 1$ , berarti ada korelasi antarvariabel prediktor sehingga ada ketidaksesuaian model (Nur I. dan Septin P.A., 2006). Pada tabel 4.10 terlihat bahwa nilai VIF untuk variabel tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran berturut-turut adalah 1,0, 1,0 dan 1,0 sehingga dapat dikatakan bahwa tidak ada multikolinear dan taksiran model regresi berganda yang digunakan tepat.

## 2. Persamaan Regresi Berganda

$$Y = 7695 + 824X_1 - 134X_2 - 1008X_3$$

Dimana:

$Y$  = nilai fluks ( $L/m^2.jam$ )

$X_1$  = variasi tekanan (bar)

$X_2$  = variasi waktu operasi (mnt)

$X_3$  = variasi ketebalan membran (lembar)

Berdasarkan hasil analisa regresi, konstanta sebesar 7695 menyatakan bahwa jika variasi tekanan, variasi waktu operasi dan variasi ketebalan membran konstan maka nilai fluks adalah  $7695 L/m^2.jam$ . Koefisien regresi sebesar 824 untuk variabel tekanan ( $X_1$ ) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 bar tekanan akan meningkatkan nilai fluks sebesar  $824 L/m^2.jam$  dengan anggapan variabel lain besarnya konstan. Sedangkan koefisien regresi 134 untuk variabel waktu operasi ( $X_2$ ) menyatakan bahwa setiap penambahan waktu operasi 1 menit akan menurunkan nilai fluks sebesar  $134 L/m^2.jam$  dengan anggapan variabel lain besarnya konstan. Koefisien regresi 1008 untuk variabel ketebalan membran ( $X_3$ ) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 lembar tebal membran akan menurunkan nilai fluks sebesar  $1008 L/m^2.jam$  dengan anggapan variabel lain besarnya konstan.

## 3. Uji t untuk menguji signifikan konstanta dan variabel independent.

Hipotesis:

- $H_0$  = koefisien regresi tidak signifikan
- $H_1$  = koefisien regresi signifikan

Pengambilan keputusan:

1. Dengan membandingkan statistik t hitung dengan statistik t tabel. Jika statistik t hitung < statistik t tabel, maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak. Jika statistik t hitung > statistik t tabel, maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima. Nilai t tabel adalah 1,977 sedangkan nilai t hitung berdasarkan tabel 4.10 adalah 18,86 (konstan), 6,13 (variasi tekanan), 17,06 (variasi waktu operasi) dan 7,55 (variasi ketebalan membran). Semua nilai t hitung lebih besar dari t tabel, maka koefisien regresi signifikan.

## 2. Berdasarkan probabilitas

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Terlihat bahwa pada kolom P (tabel 4.10) adalah 0,000 yang berarti probabilitas jauh di bawah 0,05. Dengan demikian,  $H_0$  ditolak, atau koefisien regresi signifikan, atau variasi tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran benar-benar berpengaruh secara signifikan terhadap nilai fluks.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai R square sebesar 73,5%, hal ini berarti 73,5%, nilai fluks dapat dijelaskan oleh variasi tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran. Sedangkan sisanya 26,5% dijelaskan oleh faktor-faktor yang lain yang tidak masuk ke dalam model.

## 4. Uji linearitas

Berdasarkan analisa regresi, selanjutnya dilakukan uji linearitas untuk melihat bentuk dari outputnya linier atau tidak dan juga untuk melihat dapat tidaknya memprediksi persentase penurunan berikutnya. Hasil dari uji tersebut dapat dilihat dari tabel 4.11 berikut ini:

**Tabel 4.11 Hasil Uji Kelinearian Analisa Regresi Nilai Fluks**

| Source     | DF  | SS          | MS          | F      | P     |
|------------|-----|-------------|-------------|--------|-------|
| Regression | 3   | 2.21742E+12 | 7.39141E+11 | 129.52 | 0.000 |
| Residual   | 140 | 7.98948E+11 | 5706773902  |        |       |
| Total      | 143 | 3.01637E+12 |             |        |       |

Dari uji kelinearian untuk analisa regresi atau F test, didapat nilai F hitung 129,52. Dari tabel distribusi F didapatkan nilai F tabel 2,67. Karena F hitung lebih besar dari F tabel, maka kesimpulannya adalah variabel Y (variabel terikat) dengan X (variabel bebas) mempunyai hubungan linier atau nilai fluks dengan tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran mempunyai hubungan linier. Nilai probabilitas 0,000 jauh lebih kecil dari 0,05 maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksi nilai fluks.

#### 4.5 Pembahasan Fluks Pada Membran Mikrofiltrasi

Pada proses ini, air sungai yang keluar dari *roughing filter* (*pretreatment*) dipompakan ke membran mikrofiltrasi untuk diseparasi dengan berbagai variasi tekanan, ketebalan dan dilakukan pengambilan sampel tiap 10 menit selama 1 jam. Pada tabel 4.3 dan gambar 4.1 serta gambar 4.2 terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai fluks yang cukup stabil dari setiap tekanan pada masing-masing variasi waktu dan ketebalan membran.

Peningkatan tekanan operasi akan menyebabkan fluks yang dihasilkan bertambah besar. Pengaruh tekanan operasi terhadap fluks dapat dilihat pada nilai koefisien korelasi antara tekanan dan fluks. Pada tabel 4.9 terlihat nilai koefisien korelasi yang diperoleh sebesar 0,641. Nilai koefisien berada diantara 0,4 - 0,7 yang artinya hubungan kedua variabel sedang (*Ahmad Z. S., 2005*). Pengaruh tekanan operasi terhadap fluks dijelaskan pula pada persamaan 2 yang dinyatakan dengan rumus:

$$J_v = K \times \Delta P \text{ (Mulder, 1996)}$$

Dimana:

$J_v$  = fluks ( $L/m^2 \cdot jam$ )

$K$  = konstanta permeabilitas

$\Delta P$  = tekanan operasi (bar)

Pada persamaan tersebut menjelaskan bahwa tekanan operasi yang besar akan menghasilkan fluks yang besar pula.

Pada gambar 4.1 dan 4.2 terlihat pula bahwa nilai fluks pada awal operasi tinggi dan semakin menurun seiring dengan semakin lamanya waktu operasi. Terjadi hubungan yang bertolak belakang antara waktu operasi dengan fluks. Hubungan ini terlihat pada koefisien korelasinya yang bernotasi negatif, dimana nilai yang diperoleh sebesar -0,757. Nilai koefisien berada diantara 0,7 - 0,9 yang artinya hubungan kedua variabel kuat (*Ahmad Z. S., 2005*).

Pada awal proses penyaringan yaitu pada 10 menit pertama nilai fluks yang dihasilkan besar karena pada saat itu pori membran masih dalam keadaan cukup bersih sehingga memudahkan air umpan untuk dapat melewatinya. Semakin lama waktu operasi maka semakin banyak partikel-partikel yang terakumulasi sehingga membentuk *cake layer* pada permukaan membran dan

menjadikannya sebagai penghalang yang menghambat air umpan untuk melewati membran (terjadi *fouling*), sehingga fluks turun dari waktu ke waktu. Pada selang waktu operasi tertentu fluks turun sampai transport partikel pada *cake layer* yang terdeposisi pada permukaan membran seimbang dengan transport partikel dari *cake layer* sehingga nilai fluks konstan (Vina C., 2004).

*Fouling* yang terjadi dapat disebabkan oleh sistem pengaliran *feed* pada membran dan konsentrasi *suspended solid* yang tinggi pada *feed*. Penelitian ini menggunakan sistem *dead end*. Sistem *dead end* melakukan pengaliran *feed* secara tegak lurus pada permukaan membran dan digunakan untuk *feed* yang mempunyai *suspended solid* rendah (Scott, 1995). Model pengaliran ini akan meningkatkan polarisasi konsentrasi dan akhirnya menimbulkan *fouling* (penyumbatan). Polarisasi merupakan peristiwa peningkatan lokal konsentrasi *solute* (kontaminan) pada permukaan membran (Vina C., 2004). Akibat terjadinya polarisasi secara terus menerus selama waktu operasi membran, maka akan menimbulkan *fouling* yang lebih besar pada membran. *Fouling* pada membran dapat terjadi di permukaan dan di dalam pori-pori membran (Zaini Ujang, 2004). *Fouling* dipermukaan membran di akibatkan oleh pertambahan jumlah solid secara terus menerus selama waktu operasi dan terakumulasi sehingga membentuk sejenis *cake layer*. *Cake layer* merupakan sejenis gelatin yang menutupi permukaan membran dan dapat berguna sebagai membran kedua (Scott, 1995). Sedangkan *fouling* di dalam pori-pori membran yang disebabkan teradsorbsinya partikel-partikel disekeliling dalam pori membran akan membuat diameter pori menjadi lebih kecil (Shiau, Jia-Shyan, 2003 dalam Vina C., 2004).

Terbentuknya *fouling* pada membran akan meningkatkan tahanan hidrodinamika (resistensi) baik dipermukaan maupun didalam pori-pori membran, sehingga fluks akan menurun seiring lamanya waktu operasi. Resistensi yang terjadi pada membran meliputi resistensi membran ( $R_m$ ), resistensi adsorpsi ( $R_a$ ), resistensi penutupan pori ( $R_p$ ), resistensi *cake layer/gel layer* ( $R_g$ ) dan resistensi polarisasi ( $R_{cp}$ ) (Mulder, 1996). Semua jenis resistensi ini mempunyai peran dalam menghambat laju fluks. Gabungan dari semua jenis resistensi tersebut disebut sebagai resistensi total. Pengaruh resistensi total terhadap fluks tertuang dalam persamaan:

$$J_v = \frac{\Delta P}{\eta \cdot R_{tot}} \text{ (Mulder, 1996)}$$

Dimana:

$J_v$  = fluks ( $L/m^2 \cdot jam$ )

$\eta$  = viskositas

$\Delta P$  = tekanan operasi (bar)

$R_{tot}$  = resistensi total

Pada persamaan tersebut terlihat bahwa peningkatan resistensi total akan menurunkan nilai fluks.

Ketebalan membran juga mempengaruhi penurunan nilai fluks, hal ini terlihat pada gambar 4.1 dan 4.2 Terjadi hubungan yang bertolak belakang antara antara ketebalan membran dengan fluks. Hubungan ini terlihat pada koefisien korelasinya yang bernotasi negatif, dimana nilai yang diperoleh sebesar -0,704. Nilai koefisien berada diantara 0,7 - 0,9 yang artinya hubungan kedua variabel kuat (Ahmad Z. S., 2005).

Pada ketebalan 1 lembar 0,2  $\mu m$  mempunyai nilai fluks yang lebih besar dibandingkan dengan ketebalan 3 lembar 0,2  $\mu m$ . Hal ini dikarenakan semakin tebal membran akan menyebabkan permeabilitas (nilai fluks) turun. Permeabilitas merupakan ukuran kecepatan suatu spesi menembus membran yang sangat dipengaruhi oleh jumlah pori, ukuran pori dan tekanan yang dioperasikan. Ketebalan membran juga berpengaruh terhadap ketahanan membran, semakin tebal membran maka ketahanan semakin besar dan kekuatan membran meningkat, namun fluksnya semakin kecil (Budi P. 2002).

Peranan tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran berbeda terhadap fluks. Tekanan meningkat akan menyebabkan fluks menjadi lebih besar tetapi waktu operasi yang lama justru akan menyebabkan fluks menurun, begitu juga pada perbedaan ketebalan dimana semakin tebal membran, fluks yang dihasilkan lebih sedikit. Tekanan yang besar akan memberikan gaya pada *feed* yang besar pula. Gaya ini akan membuat *solute* (kontaminan) dan *solvent* (pelarut) yang terkandung dalam *feed* akan mudah melalui pori-pori membran. Sehingga walaupun telah terjadi *fouling*, fluks akan tetap keluar dari membran dengan kuantitas yang relatif kecil. Namun tidak demikian dengan waktu operasi. Waktu

operasi membran yang lama justru akan membuat *cake layer* bertambah tebal dan pori-pori membran semakin kecil (Mulder, 1996). *Cake layer* yang semakin tebal dan pori-pori membran yang kecil akan meningkatkan resistensi membran terhadap aliran *feed*, sehingga berdampak pada penurunan fluks seiring lamanya waktu operasi. Sedangkan pada ketebalan membran, semakin tebal suatu membran maka nilai fluks yang dihasilkan akan lebih sedikit. Hal ini disebabkan oleh jumlah pori yang semakin banyak serta ukuran pori yang semakin rapat akan mengurangi kecepatan suatu spesi untuk menembus membran.

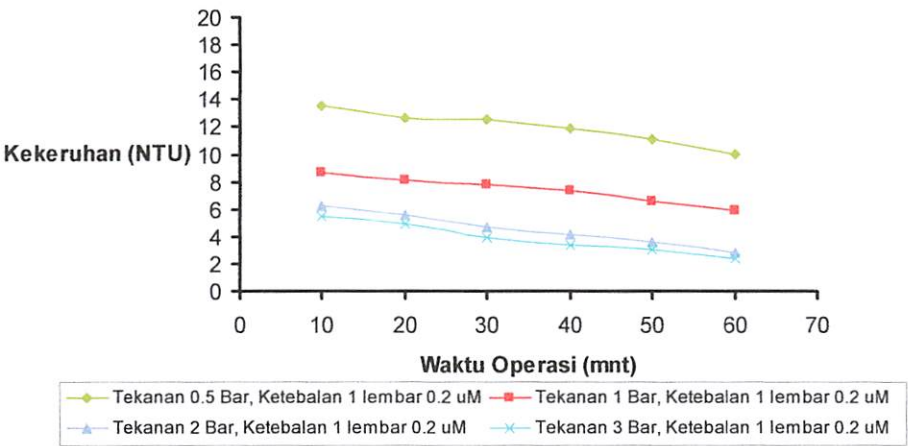
Selama proses filtrasi membran, suhu mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan oleh adanya sistem *sirkulasi feed* pada reaktor dan resistensi yang tinggi pada membran. Peningkatan suhu masih berada dalam kewajaran, karena suhu maksimal yang diijinkan terhadap membran *cellulose nitrate* ini adalah 80°C. Suhu yang terus meningkat akan menyebabkan viskositas *feed* menurun dan dapat meningkatkan fluks (W. Wesley E., 2000). Viskositas yang rendah akan memudahkan *feed* untuk lolos melalui pori-pori membran dan akan meningkatkan fluks. Namun selama proses filtrasi ini pula akan menyebabkan peningkatan konsentrasi *feed*. Konsentrasi *feed* yang terus meningkat dan waktu operasi membran yang lama akan menjadikan ketebalan *cake layer* terus bertambah. Sehingga pengaruh suhu terhadap fluks sangat kecil.

Untuk memprediksi nilai fluks terhadap variabel tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran dapat menggunakan persamaan regresi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa 73,5% nilai fluks dipengaruhi oleh tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran sedangkan sisanya dapat dipengaruhi oleh resistensi total, suhu dan *fouling*.

4.6 Analisa Penurunan Kekeruhan

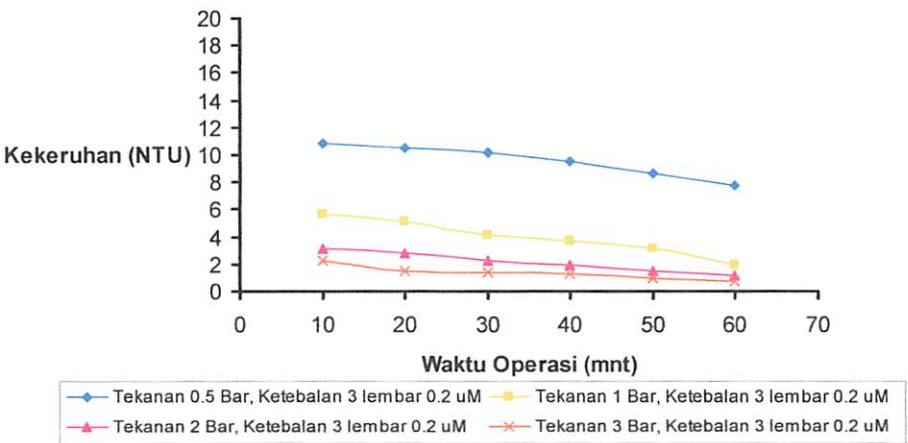
4.6.1. Analisa Deskriptif

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa, membran mikrofiltrasi mempunyai kemampuan menurunkan kekeruhan pada air sungai pada setiap perlakuan variasi. Konsentrasi akhir kekeruhan dapat dilihat pada tabel 4.4 yang diplotkan ke grafik seperti pada gambar 4.3 dan 4.4.



Gambar 4.3 Grafik Konsentrasi Kekeruhan

Pada Ketebalan 1 Lembar 0,2  $\mu$ m



Gambar 4.4 Grafik Konsentrasi Kekeruhan

Pada Ketebalan 3 Lembar 0,2  $\mu$ m

Berdasarkan tabel 4.4 dan gambar 4.3 serta gambar 4.4 menunjukkan bahwa konsentrasi akhir kekeruhan semakin menurun seiring dengan meningkatnya tekanan operasi, waktu operasi dan juga ketebalan membran. Nilai konsentrasi akhir kekeruhan terendah sebesar 0.67 NTU terdapat pada perlakuan

tekanan 3 bar, waktu operasi 60 menit dengan ketebalan membran 3 lembar  $0,2 \mu m$ . Sedangkan nilai konsentrasi akhir kekeruhan tertinggi sebesar 13.43 NTU terdapat pada perlakuan tekanan 0,5 bar, waktu operasi 10 menit dengan ketebalan membran 1 lembar  $0,2 \mu m$ .

Untuk mengetahui efisiensi membran dalam menurunkan konsentrasi kekeruhan berdasarkan variasi tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran, maka dilakukan perhitungan persentase rejeksi (%R) membran. Perhitungan persentase rejeksi menggunakan persamaan 4 yaitu:

$$\%R = 1 - \left( \frac{C_p}{C_f} \right) \text{ (Zaini Ujang, 2004)}$$

Dimana:

%R = persentase rejeksi

$C_p$  = konsentrasi *permeate*;  $C_f$  = konsentrasi umpan (*feed*)

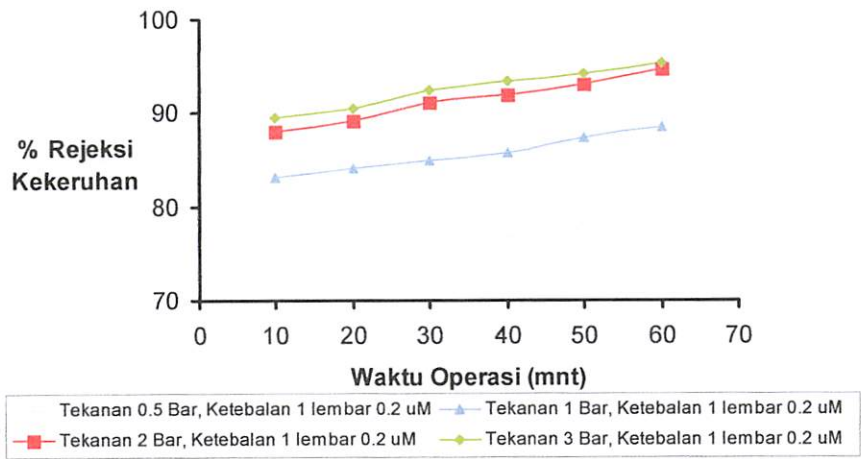
Hasil perhitungan persentase rejeksi (%R) konsentrasi kekeruhan dapat dilihat pada tabel 4.12 dan gambar 4.5 serta 4.6.

Tabel 4.12 Nilai Persentase Rejeksi (%R) Konsentrasi Kekeruhan

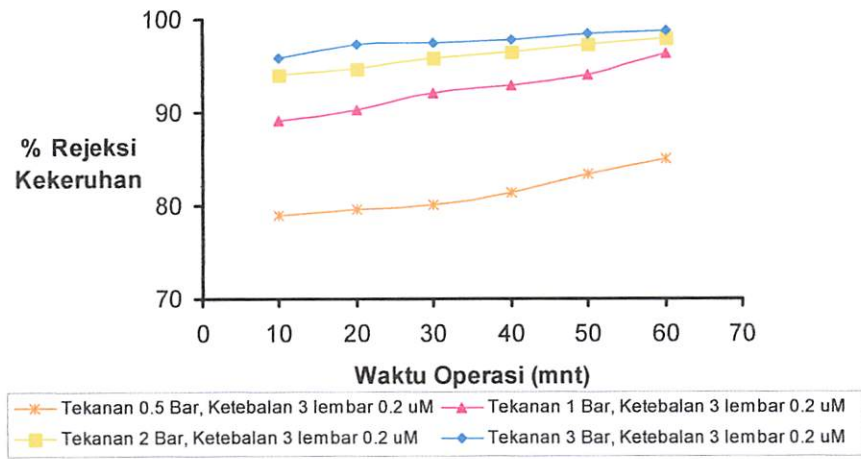
| Tekanan<br>(Bar) | Ketebalan<br>(Lembar 0,2 µm) | Waktu<br>(menit) | Persentase Rejeksi<br>Kekeruhan (%R) |       |       | Rata-Rata<br>(%) |
|------------------|------------------------------|------------------|--------------------------------------|-------|-------|------------------|
|                  |                              |                  | I                                    | II    | III   |                  |
| 0.5              | 1                            | 10               | 73.66                                | 73.46 | 73.66 | 73.59            |
|                  |                              | 20               | 74.64                                | 74.25 | 74.44 | 74.44            |
|                  |                              | 30               | 75.43                                | 75.23 | 75.62 | 75.43            |
|                  |                              | 40               | 76.61                                | 76.80 | 76.80 | 76.74            |
|                  |                              | 50               | 78.37                                | 78.18 | 77.98 | 78.18            |
|                  |                              | 60               | 80.73                                | 80.34 | 80.34 | 80.47            |
| 1                | 1                            | 10               | 82.90                                | 82.90 | 83.09 | 82.96            |
|                  |                              | 20               | 84.08                                | 83.88 | 84.27 | 84.08            |
|                  |                              | 30               | 84.67                                | 84.86 | 84.86 | 84.80            |
|                  |                              | 40               | 85.65                                | 86.04 | 85.45 | 85.71            |
|                  |                              | 50               | 87.02                                | 87.42 | 87.22 | 87.22            |
|                  |                              | 60               | 88.60                                | 88.40 | 88.40 | 88.47            |
| 2                | 1                            | 10               | 88.20                                | 88.01 | 87.61 | 87.94            |
|                  |                              | 20               | 88.99                                | 89.19 | 89.19 | 89.12            |
|                  |                              | 30               | 91.15                                | 90.76 | 90.96 | 90.96            |
|                  |                              | 40               | 91.74                                | 91.94 | 91.94 | 91.87            |
|                  |                              | 50               | 92.92                                | 92.92 | 93.12 | 92.99            |
|                  |                              | 60               | 94.50                                | 94.50 | 94.89 | 94.63            |
| 3                | 1                            | 10               | 89.38                                | 89.19 | 89.58 | 89.38            |
|                  |                              | 20               | 90.37                                | 90.17 | 90.56 | 90.37            |
|                  |                              | 30               | 92.33                                | 92.53 | 92.33 | 92.40            |
|                  |                              | 40               | 93.51                                | 93.32 | 93.32 | 93.38            |
|                  |                              | 50               | 94.10                                | 94.30 | 93.91 | 94.10            |
|                  |                              | 60               | 95.28                                | 95.48 | 95.28 | 95.35            |
| 0.5              | 3                            | 10               | 78.96                                | 78.77 | 78.96 | 78.90            |
|                  |                              | 20               | 79.55                                | 79.36 | 79.75 | 79.55            |
|                  |                              | 30               | 79.95                                | 80.14 | 80.14 | 80.08            |
|                  |                              | 40               | 81.32                                | 81.52 | 81.13 | 81.32            |
|                  |                              | 50               | 83.29                                | 83.29 | 83.09 | 83.22            |
|                  |                              | 60               | 84.86                                | 85.06 | 84.86 | 84.93            |
| 1                | 3                            | 10               | 88.99                                | 89.19 | 88.99 | 89.06            |
|                  |                              | 20               | 90.17                                | 90.17 | 89.97 | 90.10            |
|                  |                              | 30               | 92.14                                | 91.94 | 91.74 | 91.94            |
|                  |                              | 40               | 92.92                                | 92.73 | 92.73 | 92.79            |
|                  |                              | 50               | 94.10                                | 93.91 | 93.71 | 93.91            |
|                  |                              | 60               | 96.26                                | 96.46 | 96.07 | 96.26            |
| 2                | 3                            | 10               | 94.10                                | 93.71 | 94.10 | 93.97            |
|                  |                              | 20               | 94.69                                | 94.50 | 94.69 | 94.63            |
|                  |                              | 30               | 95.87                                | 95.48 | 95.67 | 95.67            |
|                  |                              | 40               | 96.46                                | 96.26 | 96.26 | 96.33            |
|                  |                              | 50               | 97.05                                | 97.25 | 97.25 | 97.18            |
|                  |                              | 60               | 98.03                                | 97.64 | 97.84 | 97.84            |
| 3                | 3                            | 10               | 95.67                                | 96.07 | 95.28 | 95.67            |
|                  |                              | 20               | 97.25                                | 97.25 | 97.05 | 97.18            |
|                  |                              | 30               | 97.44                                | 97.44 | 97.25 | 97.38            |
|                  |                              | 40               | 97.84                                | 97.64 | 97.64 | 97.71            |

|  |  |    |       |       |       |       |
|--|--|----|-------|-------|-------|-------|
|  |  | 50 | 98.43 | 98.23 | 98.43 | 98.36 |
|  |  | 60 | 98.82 | 98.62 | 98.62 | 98.69 |

Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 4.5 Grafik Persentase Rejeksi Kekeruhan Pada Ketebalan 1 Lembar 0,2 μm



Gambar 4.6 Grafik Persentase Rejeksi Kekeruhan Pada Ketebalan 3 Lembar 0,2 μm

Berdasarkan tabel 4.12 dan gambar 4.5 serta 4.6 didapatkan persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan berada diantara 73,59% - 98,69%. Untuk persentase rejeksi terendah sebesar 73,59% terjadi pada perlakuan tekanan 0,5 bar, waktu operasi 10 menit dengan ketebalan 1 lembar 0,2 μm. Sedangkan untuk persentase

tertinggi sebesar 98,69% terjadi pada perlakuan tekanan 3 bar, waktu operasi 60 menit dengan ketebalan 3 lembar 0,2  $\mu m$ .

#### 4.6.2. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh berbagai perlakuan dalam menghasilkan persentase penurunan kekeruhan, maka dilakukan analisa dengan menggunakan uji ANOVA satu faktor. Untuk dapat menggunakan uji ANOVA, diperlukan terlebih dahulu pengujian kesamaan variansi. Hal ini dilakukan agar kehomogenan nilai data antar peubah acak dapat dipastikan hampir sama sehingga layak untuk diamati kesamaan perilaku antar peubah acak tadi (*Ahmad Z., 2005*). Hasil uji kesamaan variansi dapat dilihat pada tabel 4.13.

**Tabel 4.13 Hasil Uji Kesamaan Variansi**

| Test of Homogeneity of Variances |     |     |      |
|----------------------------------|-----|-----|------|
| Rejeksi Kekeruhan                |     |     |      |
| Levene Statistic                 | df1 | df2 | Sig. |
| 1.800                            | 3   | 140 | .150 |

Hipotesis hasil uji kesamaan variansi:

- $H_0$  = Ke-48 varians perlakuan adalah identik.
- $H_1$  = Ke-48 varians perlakuan adalah tidak identik.

Dasar pengambilan keputusan:

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Keputusan:

Terlihat bahwa pada tabel 4.13 nilai probabilitas untuk rejeksi konsentrasi kekeruhan sebesar 0.150 oleh karena probabilitas rejeksi kekeruhan  $> 0,05$  maka  $H_0$  diterima. Atau, ke-48 varians populasi adalah sama. Dengan demikian, asumsi kesamaan varians untuk uji ANOVA sudah terpenuhi. Artinya pengulangan tiga kali yang dilakukan untuk mengukur nilai kekeruhan pada masing-masing perlakuan dan dilakukan pengrata-rataan, kemudian nilai rata-rata tersebut dianggap mewakili dari nilai kekeruhan masing-masing perlakuan tersebut.

Setelah ke-48 varians perlakuan terbukti sama, baru dilakukan uji ANOVA untuk menguji apakah ke-48 perlakuan mempunyai rata-rata (*mean*) yang sama. Sebagai indikator adalah jika nilai rata-rata ke-48 perlakuan sama atau identik, maka variabel tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran dapat dikatakan tidak mempengaruhi nilai kekeruhan. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada tabel 4.14.

**Tabel 4.14 Hasil Uji ANOVA Persentase Rejeksi (%R) Konsentrasi Kekeruhan**

| Source    | DF  | SS       | MS      | F       | P     |
|-----------|-----|----------|---------|---------|-------|
| Perlakuan | 47  | 7335.711 | 156.079 | 5192.32 | 0.000 |
| Error     | 96  | 2.886    | 0.030   |         |       |
| Total     | 143 | 7338.596 |         |         |       |

Hipotesis hasil uji ANOVA:

- $H_0$  = Ke-48 perlakuan adalah identik.
- $H_1$  = Ke-48 perlakuan adalah tidak identik.

Dasar pengambilan keputusan:

Berdasarkan pada perbandingan F hitung dengan F tabel.

- Jika statistik hitung (angka F *output*) > statistik tabel (tabel F),  $H_0$  ditolak.
- Jika statistik hitung (angka F *output*) < statistik tabel (tabel F),  $H_0$  diterima.

Keputusan:

Berdasarkan tabel 4.14 nilai F hitung adalah 5192.32. Jika dilihat F hitung pada tabel F adalah 1,49 dengan  $\alpha$  toleransi 5% atau 0,05. Karena nilai F hitung *output* lebih besar dari F hitung tabel, maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal ( $H_0$ ) dan menerima hipotesis  $H_1$  yaitu ke-48 perlakuan memiliki rata-rata yang tidak identik. Kesimpulannya adalah bahwa nilai rata-rata ke-48 perlakuan dipengaruhi oleh nilai variabel tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran.

4.6.3. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui tingkat kekuatan hubungan antara variabel terikat (persentase rejeksi (%R) konsentrasi kekeruhan) dengan variabel bebas (tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran), maka digunakan analisa korelasi. Hasil analisa korelasi dapat ditampilkan pada tabel 4.15.

**Tabel 4.15 Korelasi antara Persentase Rejeksi (%R) Konsentrasi Kekeruhan Dengan Tekanan, Waktu Operasi dan Ketebalan Membran**

|                     |                     | Tekanan (Bar) | Waktu Operasi (mnt) | Ketebalan Membran (lembar) |
|---------------------|---------------------|---------------|---------------------|----------------------------|
| % Rejeksi Kekeruhan | Pearson correlation | 0,779         | 0,982               | 0,801                      |
|                     | P-Value             | 0,000         | 0,000               | 0,000                      |

Dari tabel 4.15 menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara variabel dapat diketahui dari koefisien korelasi dengan penjelasan sebagai berikut:

- o Nilai koefisien korelasi antara persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan dengan variasi tekanan adalah 0,779. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara kedua variabel kuat karena berada diantara 0,7 dengan 0,9 (*Achmad Z. S, 2005*). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan tidak adanya nilai negatif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin besar tekanannya maka persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan yang dihasilkan meningkat pula. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- $H_0$  = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- $H_1$  = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.15 memperlihatkan bahwa nilai probabilitas adalah 0,000. Karena nilai P lebih kecil dari  $\alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ), maka  $H_0$  ditolak dan menerima hipotesis alternatif ( $H_1$ ) yang menyatakan ada korelasi

antara dua variable (signifikan). Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah 77,9% peningkatan persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan dipengaruhi oleh variasi tekanan.

- Nilai koefisien korelasi antara persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan dengan variasi waktu operasi adalah 0,982. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara kedua variabel sangat kuat karena berada diantara 0,9 dengan 1 (*Achmad Z. S, 2005*). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan adanya tanda positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin lama waktu operasi maka persentase yang dihasilkan akan semakin meningkat pula. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis: Hipotesis hasil uji korelasi:

- $H_0$  = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- $H_1$  = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.15 memperlihatkan bahwa nilai probabilitas adalah 0,000. Karena nilai P lebih kecil dari  $\alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ), maka  $H_0$  ditolak dan menerima hipotesis alternatif ( $H_1$ ) yang menyatakan ada korelasi antara dua variable (signifikan). Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah 98,2% penurunan persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan pada masing-masing tekanan dan ketebalan membran dipengaruhi oleh waktu operasi.

- Nilai koefisien korelasi antara persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan dengan ketebalan membran adalah 0,801. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara kedua variabel kuat karena berada diantara 0,7 dengan 0,9 (*Achmad Z. S, 2005*). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan adanya tanda positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin tebal membran maka persentase yang dihasilkan akan semakin meningkat pula. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- $H_0$  = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- $H_1$  = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.15 memperlihatkan bahwa nilai probabilitas adalah 0,000. Karena nilai P lebih kecil dari  $\alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ), maka  $H_0$  ditolak dan menerima hipotesis alternatif ( $H_1$ ) yang menyatakan ada korelasi antara dua variable (signifikan). Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah 80,4% penurunan persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan pada masing-masing tekanan dan waktu operasi dipengaruhi oleh ketebalan membran.

4.6.4. Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikasi prediksi dari hubungan/korelasi data. Taksiran paramater model yang digunakan adalah regresi berganda, karena memiliki lebih dari 1 variabel bebas. Hasil analisa tersebut dapat dilihat pada tabel 4.16.

**Tabel 4.16 Koefisien Persamaan Regresi Persentase Rejeksi (%R)  
Konsentrasi Kekeruhan**

| Predictor                  | Coef    | SE<br>Coef | T     | P     | VIF |
|----------------------------|---------|------------|-------|-------|-----|
| Constant                   | 70.9303 | 0.9040     | 78.46 | 0,000 |     |
| Tekanan (Bar)              | 5.6075  | 0.2663     | 21.06 | 0,000 | 1.0 |
| Waktu Operasi (mnt)        | 0.10966 | 0.01491    | 7.35  | 0,000 | 1.0 |
| Ketebalan Membran (lembar) | 2.6719  | 0.2548     | 10.48 | 0,000 | 1.0 |

S = 28.8542    R-Sq = 81.2%    R-Sq(adj) = 80.8%

Dari tabel di atas dapat kita ketahui:

1. Uji multikolinear

Multikolinear adalah kejadian adanya korelasi kuat antarvariabel prediktor. Jika antarvariabel prediktor berkorelasi, maka taksiran parameter model tidak tepat (Nur I. dan Septin P.A., 2006). Untuk mengidentifikasi adanya multikolinear maka digunakan *Variance Inflation Factor* (VIF). Apabila  $VIF > 1$ , berarti ada korelasi antarvariabel prediktor sehingga ada ketidaksesuaian model (Nur I. dan Septin P.A., 2006). Pada tabel 4.16 terlihat bahwa nilai VIF untuk variabel tekanan dan waktu berturut-turut adalah 1,0, 1,0 dan 1,0, sehingga dapat dikatakan bahwa tidak ada multikolinear dan taksiran model regresi berganda yang digunakan tepat.

2. Persamaan Regresi Berganda

$$Y = 70,9 + 5,61X_1 + 0,110X_2 + 2,67X_3$$

Dimana:

$Y$  = persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan

$X_1$  = variasi tekanan (bar)

$X_2$  = variasi waktu operasi (mnt)

$X_3$  = variasi ketebalan membran (lembar)

Berdasarkan hasil analisa regresi, konstanta sebesar 70,9 menyatakan bahwa jika variasi tekanan, variasi waktu operasi dan variasi ketebalan membran konstan maka persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan adalah 70,9%. Koefisien regresi sebesar 5,61 untuk variabel tekanan ( $X_1$ ) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 bar tekanan akan meningkatkan persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan sebesar 5,61% dengan anggapan variabel lain besarnya konstan. Sedangkan koefisien regresi 0,110 untuk variabel waktu operasi ( $X_2$ ) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 menit waktu operasi akan meningkatkan persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan sebesar 0,110% dengan anggapan variabel lain besarnya konstan. Koefisien regresi 2,67 untuk variabel ketebalan membran ( $X_3$ ) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 ketebalan akan meningkatkan persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan sebesar 2,67% dengan anggapan variabel lain besarnya konstan.

### 3. Uji t untuk menguji signifikan konstanta dan variabel independent.

Hipotesis:

- $H_0$  = koefisien regresi tidak signifikan
- $H_1$  = koefisien regresi signifikan

Pengambilan keputusan:

1. Dengan membandingkan statistik t hitung dengan statistik t tabel. Jika statistik t hitung < statistik t tabel, maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak. Jika statistik t hitung > statistik t tabel, maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima. Nilai t tabel adalah 1,977 sedangkan nilai t hitung berdasarkan tabel 4.16 adalah 78,46 (konstan), 21,06 (variasi tekanan), 7,35 (variasi waktu operasi) dan 10,48 (variasi ketebalan membran). Semua nilai t hitung lebih besar dari t tabel, maka koefisien regresi signifikan.
2. Berdasarkan probabilitas
  - Jika probabilitas > 0,05,  $H_0$  diterima.
  - Jika probabilitas < 0,05,  $H_0$  ditolak.

Terlihat bahwa pada kolom P (tabel 4.16) adalah 0,000 yang berarti probabilitas jauh di bawah 0,05. Dengan demikian,  $H_0$  ditolak, atau koefisien regresi signifikan, atau variasi tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran benar-benar berpengaruh secara signifikan terhadap persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai R square sebesar 81,2%, hal ini berarti 81,2%, persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan dapat dijelaskan oleh variasi tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran. Sedangkan sisanya 18,8% dijelaskan oleh faktor-faktor yang lain yang tidak masuk ke dalam model.

### 4. Uji linearitas

Berdasarkan analisa regresi, selanjutnya dilakukan uji linearitas untuk melihat bentuk dari outputnya linier atau tidak dan juga untuk melihat dapat tidaknya memprediksi persentase rejeksi berikutnya. Hasil dari uji tersebut dapat dilihat dari tabel 4.17 berikut ini:

**Tabel 4.17 Hasil Uji Kelinieran Analisa Regresi Persentase Rejeksi (%R)  
Konsentrasi Kekeruhan**

| Source     | DF  | SS     | MS     | F      | P     |
|------------|-----|--------|--------|--------|-------|
| Regression | 3   | 502878 | 167626 | 201.34 | 0.000 |
| Residual   | 140 | 116559 | 833    |        |       |
| Total      | 143 | 619437 |        |        |       |

Dari uji kelinieran untuk analisa regresi atau F test, didapat nilai F hitung 201,34. Dari tabel distribusi F didapatkan nilai F tabel 2,67. Karena F hitung lebih besar dari F tabel, maka kesimpulannya adalah variabel Y (variabel terikat) dengan X (variabel bebas) mempunyai hubungan linier atau persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan dengan tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran mempunyai hubungan linier. Nilai probabilitas 0,000 jauh lebih kecil dari 0,05, maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksi persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan.

#### 4.7. Pembahasan Konsentrasi Kekeruhan

Pada tabel 4.12 dan gambar 4.5 serta 4.6 terlihat bahwa tekanan yang makin meningkat, waktu operasi yang semakin lama dan semakin tebalnya membran membuat persentase rejeksi (%R) konsentrasi kekeruhan semakin meningkat pula. Hal ini ditunjukkan dengan persentase rejeksi terbesar terjadi pada tekanan 3 bar, menit ke-60 dengan ketebalan 3 lembar 0,2  $\mu\text{m}$  yaitu 98,69% dan persentase rejeksi terkecil terjadi pada tekanan 0,5 bar, menit ke-10 dengan ketebalan 1 lembar 0,2  $\mu\text{m}$  yaitu 73,59%.

Peningkatan tekanan operasi akan menyebabkan persentase rejeksi (%R) konsentrasi kekeruhan semakin meningkat pula. Hasil penelitian yang dilaporkan oleh Nasrul (2002), menyatakan bahwa jika tekanan operasi membran ditingkatkan, maka efisiensi penyisihan juga meningkat. Pengaruh tekanan operasi terhadap persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan dapat dilihat pada nilai koefisien korelasi antara tekanan dengan persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan. Pada tabel 4.15 terlihat nilai koefisien korelasi yang diperoleh sebesar 0,779. Nilai koefisien berada diantara 0,7 – 0,9 yang artinya hubungan kedua variabel kuat (Ahmad Z. S., 2005). Peningkatan persentase rejeksi disebabkan oleh terjadinya

kompaksi pada membran. Kompaksi merupakan perubahan bentuk susunan mekanik membran yang terjadi pada operasi membran bertekanan (*Mulder, 1996*). Pada membran yang terkompakkan, kedudukan rantai-rantai polimer semakin rapat sehingga kekuatan ikatan sekunder antara gugus polar dari satu rantai dengan rantai lainnya semakin meningkat. Hal ini menyebabkan kefleksibelan rantai polimer tersebut berkurang, sehingga tahanan perpindahan di dalam membran lebih tinggi dan *solute* (kontaminan) lebih susah berdifusi di dalamnya (*Nasrul, 2002*).

Selain itu pula tekanan yang semakin besar akan meningkatkan *fouling* pada membran. Hal ini disebabkan oleh pada tekanan yang tinggi akan memberikan gaya yang besar pada *solvent* (larutan) dan *solute* (kontaminan) untuk melalui pori-pori membran. Dalam penelitian Vina C. (2004) dinyatakan bahwa pada tekanan rendah, kemungkinan terbentuknya *fouling* atau polarisasi konsentrasi di permukaan membran adalah kecil akibat lemahnya tekanan yang diberikan terhadap partikel yang melewati membran. *Solute* yang tertahan akan membentuk *cake layer* dan penyempitan pori membran, sehingga akan membentuk membran kedua selain membran mikrofiltrasi (*Scott, 1995*). Membran kedua inilah yang turut membantu dalam menyaring *solute* yang melalui membran mikrofiltrasi. Penelitian yang dilakukan oleh Yusuf N.S. (2004) menyatakan bahwa *fouling* dapat berguna sebagai filter sebelum masuk ke dalam membran.

Terjadinya kompaksi tidak membuat kerusakan pada membran, karena *range* tekanan yang diberikan masih dalam batas kewajaran yaitu 0,5 bar hingga 3 bar. Sedangkan membran mikrofiltrasi memiliki *range* tekanan 0,5 bar hingga 5 bar (*Zaini Ujang, 2004*).

Waktu operasi yang semakin lama juga mempengaruhi persentase rejeksi (%R). Persentase rejeksi meningkat seiring lamanya waktu operasi. Pengaruh waktu operasi membran terhadap persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan dapat dilihat pada nilai koefisien korelasi antara waktu dengan persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan. Pada tabel 4.15 terlihat nilai koefisien korelasi yang diperoleh sebesar 0,982. Nilai koefisien berada diantara 0,9 – 1 yang artinya hubungan kedua variabel sangat kuat (*Ahmad Z. S., 2005*). Waktu operasi membran yang lama justru akan membuat *cake layer* bertambah tebal dan pori-

pori membran semakin kecil (Mulder, 1996). *Solute* banyak tertahan di *cake layer* yang tebal dan pori-pori membran, sehingga konsentrasi kekeruhan yang keluar dari membran kecil atau persentase rejeksi yang diperoleh besar. Hal inilah yang menyebabkan persentase rejeksi meningkat selama waktu operasi. Hasil penelitian yang dilaporkan oleh Vina C. (2004), menunjukkan bahwa seiring dengan bertambahnya waktu operasi maka *cake layer* dapat terus bertambah dan memadat serta dapat berfungsi sebagai membran kedua sehingga meningkatkan efisiensi penurunan kekeruhan.

Selain pengaruh tekanan operasi dan waktu operasi, ketebalan membran juga berpengaruh terhadap persentase rejeksi kekeruhan (%R). Persentase rejeksi meningkat dengan bertambahnya ketebalan membran. Seperti yang dilaporkan oleh Gangsar Santoso (2001) menyatakan bahwa ketebalan membran akan meningkatkan perselektivitas (efisiensi rejeksi) dari membran. Pada tabel 4.15 terlihat nilai koefisien korelasi yang diperoleh sebesar 0,801. nilai koefisien berada diantara 0,7 – 0,9 yang artinya hubungan kedua variabel kuat (Ahmad Z. S., 2005).

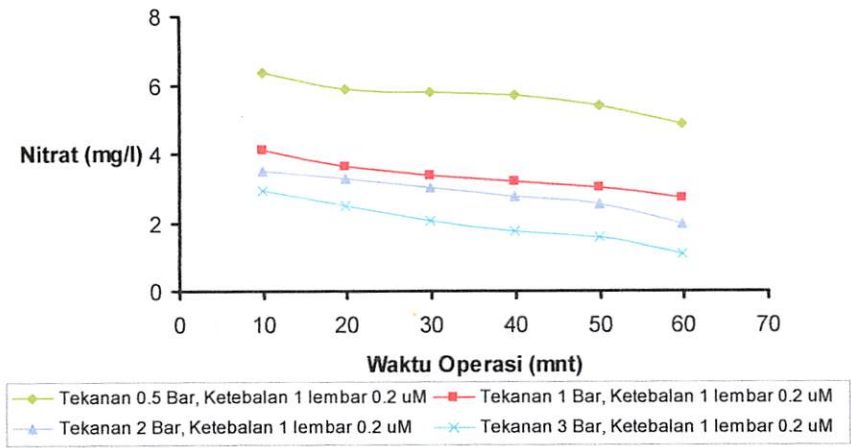
Turbidity atau kekeruhan pada air sungai dapat disebabkan oleh banyak faktor, antara lain adanya bahan yang tidak terlarut seperti debu, tanah liat, bahan organik atau anorganik, dan mikroorganisme air (Totok Sutrisno dan Eni suciastuti, 1987). Nilai konsentrasi kekeruhan yang terdapat pada tabel 4.4 menunjukkan bahwa sejumlah partikel telah lolos dari filtrasi membran. Partikel yang lolos tersebut tentunya memiliki diameter yang lebih kecil dari 0,2  $\mu\text{m}$  seperti debu yang merupakan jenis molekul organik dengan *range* dimensi 0,3 – 0,8 nm dan tanah liat yang merupakan jenis ion anorganik dengan *range* dimensi 0,2 – 0,4 nm (Mulder, 1996). Namun tidak seluruhnya molekul organik atau ion-ion anorganik yang lolos dari pori-pori membran, karena sebagian dimungkinkan tertahan pada *cake layer* dan pori-pori membran.

Untuk memprediksi persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan berdasarkan variasi tekanan, lamanya waktu operasi dan tebalnya membran, dapat menggunakan persamaan regresi. Hasil analisa regresi menunjukkan bahwa 81,2% nilai persentase rejeksi konsentrasi kekeruhan dipengaruhi oleh variabel tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran.

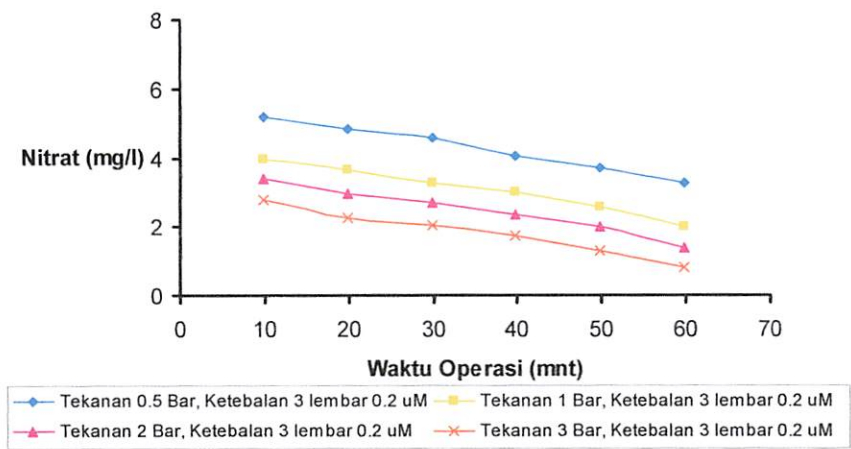
4.8. Analisa Penurunan Nitrat

4.8.1. Analisa Deskriptif

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa, membran mikrofiltrasi mempunyai kemampuan menurunkan nitrat pada air sungai pada setiap perlakuan variasi. Konsentrasi akhir nitrat dapat dilihat pada tabel 4.5 yang diplotkan ke grafik seperti pada gambar 4.7 dan 4.8.



Gambar 4.7 Grafik Konsentrasi Nitrat Pada Ketebalan 1 Lembar 0,2  $\mu$ m



Gambar 4.8 Grafik Konsentrasi Nitrat Pada Ketebalan 3 Lembar 0,2  $\mu$ m

Berdasarkan tabel 4.5 dan gambar 4.7 serta gambar 4.8 menunjukkan bahwa konsentrasi akhir nitrat semakin menurun seiring dengan meningkatnya tekanan operasi, waktu operasi dan juga ketebalan membran. Nilai konsentrasi akhir nitrat terendah sebesar 0,77 mg/l terdapat pada perlakuan tekanan 3 bar, waktu operasi 60 menit dengan ketebalan membran 3 lembar 0,2  $\mu$ m. Sedangkan nilai konsentrasi akhir nitrat tertinggi sebesar 6,315 mg/l terdapat pada perlakuan

tekanan 0,5 bar, waktu operasi 10 menit dengan ketebalan membran 1 lembar 0,2  $\mu m$ .

Untuk mengetahui efisiensi membran dalam menurunkan konsentrasi nitrat berdasarkan variasi tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran, maka dilakukan perhitungan persentase rejeksi (%R) membran. Perhitungan persentase rejeksi menggunakan persamaan 4 yaitu:

$$\%R = 1 - \left( \frac{C_p}{C_f} \right) \text{ (Zaini Ujang, 2004)}$$

Dimana:

%R = persentase rejeksi

$C_p$  = konsentrasi *permeate*;  $C_f$  = konsentrasi umpan (*feed*)

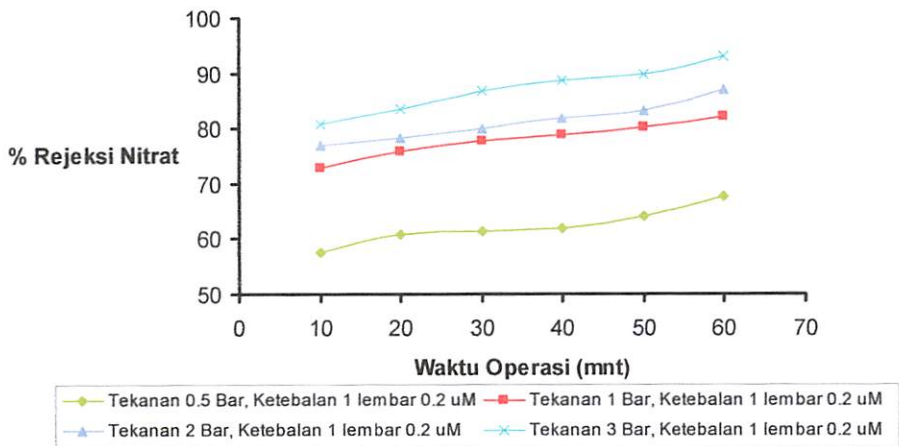
Hasil perhitungan persentase rejeksi konsentrasi nitrat dapat dilihat pada tabel 4.18 dan gambar 4.9 serta 4.10:

**Tabel 4.18 Nilai Persentase Rejeksi (%R) Konsentrasi Nitrat**

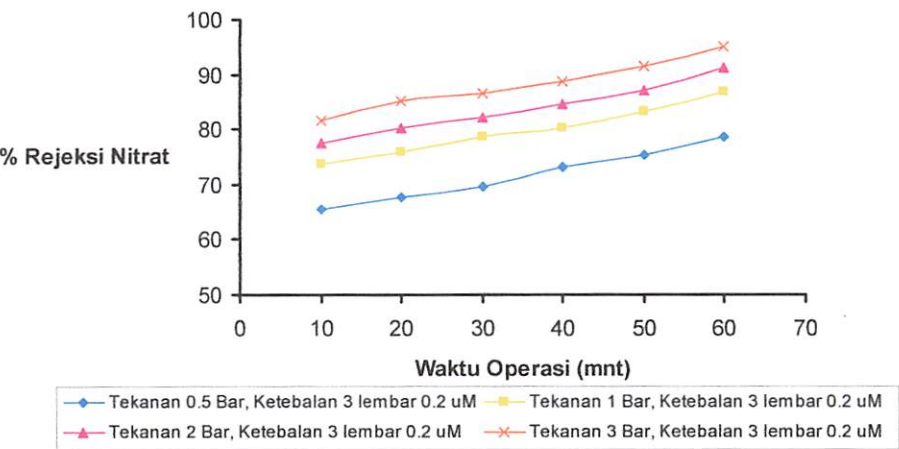
| Tekanan<br>(Bar) | Ketebalan<br>(Lembar 0,2 $\mu\text{m}$ ) | Waktu<br>(menit) | Persentase Rejeksi<br>Konsentrasi Nitrat (%) |        |        | Rata-<br>Rata<br>(%) |
|------------------|------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------|--------|--------|----------------------|
|                  |                                          |                  | I                                            | II     | III    |                      |
| 0.5              | 1                                        | 10               | 56.974                                       | 57.924 | 57.608 | 57.50                |
|                  |                                          | 20               | 60.755                                       | 61.067 | 59.815 | 60.55                |
|                  |                                          | 30               | 60.755                                       | 61.067 | 61.692 | 61.17                |
|                  |                                          | 40               | 61.692                                       | 62.625 | 61.067 | 61.79                |
|                  |                                          | 50               | 63.865                                       | 63.556 | 64.174 | 63.87                |
|                  |                                          | 60               | 67.856                                       | 67.551 | 67.246 | 67.55                |
| 1                | 1                                        | 10               | 72.689                                       | 72.089 | 72.988 | 72.59                |
|                  |                                          | 20               | 75.666                                       | 75.962 | 75.369 | 75.67                |
|                  |                                          | 30               | 78.317                                       | 77.142 | 77.436 | 77.63                |
|                  |                                          | 40               | 78.317                                       | 78.903 | 79.195 | 78.81                |
|                  |                                          | 50               | 79.779                                       | 80.362 | 79.779 | 79.97                |
|                  |                                          | 60               | 81.813                                       | 82.968 | 81.233 | 82.00                |
| 2                | 1                                        | 10               | 76.847                                       | 77.142 | 75.962 | 76.65                |
|                  |                                          | 20               | 78.024                                       | 78.903 | 77.436 | 78.12                |
|                  |                                          | 30               | 80.071                                       | 80.071 | 79.487 | 79.88                |
|                  |                                          | 40               | 81.813                                       | 81.523 | 81.813 | 81.72                |
|                  |                                          | 50               | 83.831                                       | 81.523 | 83.831 | 83.06                |
|                  |                                          | 60               | 87.540                                       | 86.404 | 86.973 | 86.97                |
| 3                | 1                                        | 10               | 80.362                                       | 80.943 | 80.362 | 80.56                |
|                  |                                          | 20               | 83.256                                       | 83.256 | 83.544 | 83.35                |
|                  |                                          | 30               | 86.689                                       | 86.120 | 86.689 | 86.50                |
|                  |                                          | 40               | 88.389                                       | 88.671 | 88.389 | 88.48                |
|                  |                                          | 50               | 89.235                                       | 89.798 | 89.516 | 89.52                |
|                  |                                          | 60               | 93.149                                       | 92.871 | 92.593 | 92.87                |
| 0.5              | 3                                        | 10               | 65.407                                       | 64.483 | 66.022 | 65.30                |
|                  |                                          | 20               | 67.551                                       | 67.246 | 67.856 | 67.55                |
|                  |                                          | 30               | 69.678                                       | 69.376 | 69.376 | 69.48                |
|                  |                                          | 40               | 72.689                                       | 73.287 | 72.988 | 72.99                |
|                  |                                          | 50               | 75.369                                       | 75.369 | 74.776 | 75.17                |
|                  |                                          | 60               | 78.610                                       | 78.610 | 77.730 | 78.32                |
| 1                | 3                                        | 10               | 73.287                                       | 73.585 | 73.585 | 73.49                |
|                  |                                          | 20               | 75.666                                       | 75.962 | 75.369 | 75.67                |
|                  |                                          | 30               | 78.024                                       | 78.610 | 78.317 | 78.32                |
|                  |                                          | 40               | 80.071                                       | 80.071 | 79.779 | 79.97                |
|                  |                                          | 50               | 83.256                                       | 82.680 | 82.968 | 82.97                |
|                  |                                          | 60               | 86.973                                       | 86.973 | 86.120 | 86.69                |
| 2                | 3                                        | 10               | 77.730                                       | 77.142 | 77.436 | 77.44                |
|                  |                                          | 20               | 80.362                                       | 80.071 | 80.071 | 80.17                |
|                  |                                          | 30               | 82.102                                       | 82.102 | 81.523 | 81.91                |
|                  |                                          | 40               | 84.118                                       | 84.405 | 84.692 | 84.40                |
|                  |                                          | 50               | 86.404                                       | 86.689 | 87.257 | 86.78                |
|                  |                                          | 60               | 90.359                                       | 91.199 | 91.478 | 91.01                |
| 3                | 3                                        | 10               | 81.523                                       | 80.653 | 82.391 | 81.52                |
|                  |                                          | 20               | 85.264                                       | 84.405 | 85.549 | 85.07                |
|                  |                                          | 30               | 86.689                                       | 86.404 | 86.120 | 86.40                |
|                  |                                          | 40               | 88.389                                       | 88.671 | 88.671 | 88.58                |

|  |  |    |        |        |        |       |
|--|--|----|--------|--------|--------|-------|
|  |  | 50 | 91.199 | 91.757 | 91.199 | 91.39 |
|  |  | 60 | 94.809 | 94.533 | 95.085 | 94.81 |

Sumber: Hasil Penelitian



**Gambar 4.9 Grafik Persentase Rejeksi (%R) Konsentrasi Nitrat Pada Ketebalan 1 Lembar 0,2 μm**



**Gambar 4.10 Grafik Persentase Rejeksi (%R) Konsentrasi Nitrat Pada Ketebalan 3 Lembar 0,2 μm**

Berdasarkan tabel 4.18 dan gambar 4.9 serta 4.10 didapatkan persentase rejeksi konsentrasi nitrat berada diantara 57,50% - 94,81%. Untuk persentase rejeksi terendah sebesar 57,50% terjadi pada perlakuan tekanan 0,5 bar, waktu operasi 10 menit dengan ketebalan 1 lembar 0,2 μm . Sedangkan untuk persentase rejeksi tertinggi sebesar 94,81% terjadi pada perlakuan tekanan 3 bar, waktu operasi 60 menit dengan ketebalan 3 lembar 0,2 μm .

#### 4.8.2. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh berbagai perlakuan dalam menghasilkan persentase penurunan nitrat, maka dilakukan analisa dengan menggunakan uji ANOVA satu faktor. Untuk dapat menggunakan uji ANOVA, diperlukan terlebih dahulu pengujian kesamaan variansi. Hal ini dilakukan agar kehomogenan nilai data antar peubah acak dapat dipastikan hampir sama sehingga layak untuk diamati kesamaan perilaku antar peubah acak tadi (*Ahmad Z., 2005*). Hasil uji kesamaan variansi dapat dilihat pada tabel 4.19

**Tabel 4.19 Hasil Uji Kesamaan Variansi**

| Test of Homogeneity of Variances |     |     |      |
|----------------------------------|-----|-----|------|
| Rejeksi Nitrat                   |     |     |      |
| Levene Statistic                 | df1 | df2 | Sig. |
| .813                             | 5   | 135 | .543 |

Hipotesis hasil uji kesamaan variansi:

- $H_0$  = Ke-48 varians perlakuan adalah identik.
- $H_1$  = Ke-48 varians perlakuan adalah tidak identik.

Dasar pengambilan keputusan:

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Keputusan:

Terlihat bahwa pada tabel 4.19 nilai probabilitas untuk rejeksi nitrat sebesar 0,543 oleh karena probabilitas rejeksi nitrat  $> 0,05$ , maka  $H_0$  diterima. Atau, ke-48 varians populasi adalah sama. Dengan demikian, asumsi kesamaan varians untuk uji ANOVA sudah terpenuhi. Artinya pengulangan tiga kali yang dilakukan untuk mengukur nilai rejeksi nitrat pada masing-masing perlakuan dan dilakukan pengrata-rataan, kemudian nilai rata-rata tersebut dianggap mewakili dari nilai rejeksi nitrat masing-masing perlakuan tersebut.

Setelah ke-48 varians perlakuan terbukti sama, baru dilakukan uji ANOVA untuk menguji apakah ke-48 perlakuan mempunyai rata-rata (*mean*) yang sama. Sebagai indikator adalah jika nilai rata-rata ke-48 perlakuan sama atau identik, maka variabel tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran dapat

dikatakan tidak mempengaruhi nilai rejeksi nitrat. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada tabel 4.20.

**Tabel 4.20 Hasil Uji ANOVA Persentase Rejeksi (%R) Konsentrasi Nitrat**

| Source    | DF  | SS       | MS     | F       | P     |
|-----------|-----|----------|--------|---------|-------|
| Perlakuan | 47  | 11465.62 | 243.95 | 1062.10 | 0.000 |
| Error     | 96  | 22.05    | 0.23   |         |       |
| Total     | 143 | 11487.67 |        |         |       |

Hipotesis hasil uji ANOVA:

- $H_0$  = Ke-48 perlakuan adalah identik.
- $H_1$  = Ke-48 perlakuan adalah tidak identik.

Dasar pengambilan keputusan:

Berdasarkan pada perbandingan F hitung dengan F tabel.

- Jika statistik hitung (angka F *output*) > statistik tabel (tabel F),  $H_0$  ditolak.
- Jika statistik hitung (angka F *output*) < statistik tabel (tabel F),  $H_0$  diterima.

Keputusan:

Berdasarkan tabel 4.20 nilai F hitung adalah 1062,10. Jika dilihat F hitung pada tabel F adalah 1,49 dengan  $\alpha$  toleransi 5% atau 0,05. Karena nilai F hitung *output* lebih besar dari F hitung tabel, maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal ( $H_0$ ) dan menerima hipotesis  $H_1$  yaitu ke-48 perlakuan memiliki rata-rata yang tidak identik. Kesimpulannya adalah bahwa nilai rata-rata ke-48 perlakuan dipengaruhi oleh nilai variabel tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran.

#### 4.8.3. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui tingkat kekuatan hubungan antara variabel terikat (persentase rejeksi (%R) nitrat) dengan variabel bebas (tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran), maka digunakan analisa korelasi. Hasil analisa korelasi dapat ditampilkan pada tabel 4.21.

**Tabel 4.21 Korelasi antara Persentase Rejeksi (%) Konsentrasi Nitrat, Tekanan, Waktu Operasi dan Ketebalan Membran**

|                  |                     | Tekanan (Bar) | Waktu Operasi (mnt) | Ketebalan Membran (lembar) |
|------------------|---------------------|---------------|---------------------|----------------------------|
| % Rejeksi Nitrat | Pearson correlation | 0,867         | 0,861               | 0,657                      |
|                  | P-Value             | 0,000         | 0,000               | 0,013                      |

Dari tabel 4.21 menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara variabel dapat diketahui dari koefisien korelasi dengan penjelasan sebagai berikut:

- o Nilai koefisien korelasi antara persentase rejeksi konsentrasi nitrat dengan variasi tekanan adalah 0,867. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara kedua variabel kuat karena berada diantara 0,7 dengan 0,9 (*Achmad Z. S, 2005*). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan tidak adanya nilai negatif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin besar tekanannya maka persentase rejeksi konsentrasi nitrat yang dihasilkan meningkat pula. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- $H_0$  = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- $H_1$  = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.21 memperlihatkan bahwa nilai probabilitas adalah 0,000. Karena nilai P lebih kecil dari  $\alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ), maka  $H_0$  ditolak dan menerima hipotesis alternatif ( $H_1$ ) yang menyatakan ada korelasi antara dua variabel (signifikan). Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah 86,7% peningkatan persentase rejeksi konsentrasi nitrat dipengaruhi oleh variasi tekanan.

- o Nilai koefisien korelasi antara persentase rejeksi konsentrasi nitrat dengan variasi waktu operasi adalah 0,861. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara kedua variabel kuat karena berada diantara 0,7 dengan 0,9

(Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan adanya tanda positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin lama waktu operasi maka persentase yang dihasilkan akan semakin meningkat pula. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- $H_0$  = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- $H_1$  = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.21 memperlihatkan bahwa nilai probabilitas adalah 0,000. Karena nilai P lebih kecil dari  $\alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ), maka  $H_0$  ditolak dan menerima hipotesis alternatif ( $H_1$ ) yang menyatakan ada korelasi antara dua variabel (signifikan). Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah 86,1% penurunan persentase rejeksi konsentrasi nitrat pada masing-masing tekanan dan ketebalan membran dipengaruhi oleh waktu operasi.

- Nilai koefisien korelasi antara persentase rejeksi konsentrasi nitrat dengan ketebalan membran adalah 0,657. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan kedua variabel sedang karena berada diantara 0,4 dengan 0,6 (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan adanya tanda positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin tebal membran maka persentase yang dihasilkan akan semakin meningkat pula. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- $H_0$  = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- $H_1$  = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.21 memperlihatkan bahwa nilai probabilitas adalah 0,013. Karena nilai P lebih kecil dari  $\alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ), maka  $H_0$  ditolak dan menerima hipotesis alternatif ( $H_1$ ) yang menyatakan ada korelasi antara dua variable (signifikan). Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah 65,7% penurunan persentase rejeksi konsentrasi nitrat pada masing-masing tekanan dan waktu operasi dipengaruhi oleh ketebalan membran.

4.8.4. Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikasi prediksi dari hubungan/korelasi data. Taksiran paramater model yang digunakan adalah regresi berganda, karena memiliki lebih dari 1 variabel bebas. Hasil analisa tersebut dapat dilihat pada tabel 4.22.

**Tabel 4.22 Koefisien Persamaan Regresi Persentase Rejeksi (%R)  
Konsentrasi Nitrat**

| Predictor                  | Coef    | SE Coef | T     | P     | VIF |
|----------------------------|---------|---------|-------|-------|-----|
| Constant                   | 56.417  | 1.034   | 54.56 | 0,000 |     |
| Tekanan (Bar)              | 6.9721  | 0.3017  | 23.11 | 0,000 | 1.0 |
| Waktu Operasi (mnt)        | 0.22592 | 0.01694 | 13.33 | 0,000 | 1.0 |
| Ketebalan Membran (lembar) | 1.6669  | 0.2894  | 5.76  | 0,000 | 1.0 |

S = 30.8149    R-Sq = 84.1%    R-Sq(adj) = 83.8%

Dari tabel di atas dapat kita ketahui:

1. Uji multikolinear

Multikolinear adalah kejadian adanya korelasi kuat antarvariabel prediktor. Jika antarvariabel prediktor berkorelasi, maka taksiran parameter model tidak tepat (Nur I. dan Septin P.A., 2006). Untuk mengidentifikasi adanya multikolinear maka digunakan *Variance Inflation Factor* (VIF). Apabila  $VIF > 1$ , berarti ada korelasi antarvariabel prediktor sehingga ada ketidaksesuaian model (Nur I. dan Septin P.A., 2006). Pada tabel 4.22 terlihat bahwa nilai VIF untuk variabel tekanan dan waktu berturut-turut adalah 1,0, 1,0 dan 1,0

sehingga dapat dikatakan bahwa tidak ada multikolinear dan taksiran model regresi berganda yang digunakan tepat.

## 2. Persamaan Regresi

$$Y = 56,4 + 6,97X_1 + 0,226X_2 + 1,67X_3$$

Dimana:

$Y$  = persentase rejeksi konsentrasi nitrat

$X_1$  = variasi tekanan (bar)

$X_2$  = variasi waktu operasi (mnt)

$X_3$  = variasi ketebalan membran (lembar)

Berdasarkan hasil analisa regresi, konstanta sebesar 56,4 menyatakan bahwa jika variasi tekanan, variasi waktu operasi dan variasi ketebalan membran konstan maka persentase rejeksi konsentrasi nitrat adalah 56,4%. Koefisien regresi sebesar 6,97 untuk variabel tekanan ( $X_1$ ) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 bar tekanan akan meningkatkan persentase rejeksi konsentrasi nitrat sebesar 6,97% dengan anggapan variabel lain besarnya konstan. Sedangkan koefisien regresi 0,226 untuk variabel waktu operasi ( $X_2$ ) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 menit akan meningkatkan persentase rejeksi konsentrasi nitrat sebesar 0,226% dengan anggapan variabel lain besarnya konstan. Koefisien regresi 1,67 untuk variabel ketebalan membran ( $X_3$ ) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 lembar ketebalan akan meningkatkan persentase rejeksi konsentrasi nitrat sebesar 1,67% dengan anggapan variabel lain besarnya konstan.

## 3. Uji t untuk menguji signifikan konstanta dan variabel independent.

Hipotesis:

- $H_0$  = koefisien regresi tidak signifikan
- $H_1$  = koefisien regresi signifikan

Pengambilan keputusan:

1. Dengan membandingkan statistik t hitung dengan statistik t tabel. Jika statistik t hitung < statistik t tabel, maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak. Jika statistik t hitung > statistik t tabel, maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima. Nilai t tabel adalah 1,977 sedangkan nilai t hitung berdasarkan tabel 4.22 adalah 54,56 (konstan), 23,11 (variasi tekanan), 13,33 (variasi waktu operasi) dan

5,76 (variasi ketebalan membran). Semua nilai  $t$  hitung lebih besar dari  $t$  tabel, maka koefisien regresi signifikan.

2. Berdasarkan probabilitas

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Terlihat bahwa pada kolom  $P$  (tabel 4.22) adalah 0,000 yang berarti probabilitas jauh di bawah 0,05. Dengan demikian,  $H_0$  ditolak, atau koefisien regresi signifikan, atau variasi tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran benar-benar berpengaruh secara signifikan terhadap persentase rejeksi konsentrasi nitrat.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai  $R$  square sebesar 84,1%,. hal ini berarti 84,1%, persentase rejeksi konsentrasi nitrat dapat dijelaskan oleh variasi tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran. Sedangkan sisanya 15,9% dijelaskan oleh faktor-faktor yang lain yang tidak masuk ke dalam model.

4. Uji linearitas

Berdasarkan analisa regresi, selanjutnya dilakukan uji linearitas untuk melihat bentuk dari outputnya linier atau tidak dan juga untuk melihat dapat tidaknya memprediksi persentase rejeksi berikutnya. Hasil dari uji tersebut dapat dilihat dari tabel 4.23 berikut ini:

**Tabel 4.23 Hasil Uji Kelinearan Analisa Regresi Persentase Rejeksi (%R)**  
**Konsentrasi Nitrat**

| Source     | DF  | SS     | MS     | F      | P     |
|------------|-----|--------|--------|--------|-------|
| Regression | 3   | 702843 | 234281 | 246.73 | 0.000 |
| Residual   | 140 | 132938 | 950    |        |       |
| Total      | 143 | 835779 |        |        |       |

Dari uji kelinearan untuk analisa regresi atau  $F$  test, didapat nilai  $F$  hitung 246,73. Dari tabel distribusi  $F$  didapatkan nilai  $F$  tabel 2,67. Karena  $F$  hitung lebih besar dari  $F$  tabel, maka kesimpulannya adalah variabel  $Y$  (variabel terikat) dengan  $X$  (variabel bebas) mempunyai hubungan linier atau persentase rejeksi konsentrasi nitrat dengan tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran mempunyai hubungan linier. Nilai probabilitas 0,000 jauh lebih kecil dari 0,05,

maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksi persentase rejeksi konsentrasi nitrat.

#### 4.9. Pembahasan Konsentrasi Nitrat

Pada tabel 4.18 dan gambar 4.9 serta 4.10 terlihat bahwa tekanan yang makin meningkat, waktu operasi yang semakin lama dan semakin tebalnya membran membuat persentase rejeksi (%R) konsentrasi nitrat semakin meningkat pula. Hal ini ditunjukkan dengan persentase rejeksi terbesar terjadi pada tekanan 3 bar, menit ke-60 dengan ketebalan 3 lembar 0,2  $\mu\text{m}$  yaitu 94,81% dan persentase rejeksi terkecil terjadi pada tekanan 0,5 bar, menit ke-10 dengan ketebalan 1 lembar 0,2  $\mu\text{m}$  yaitu 57,50%.

Peningkatan tekanan operasi akan menyebabkan persentase rejeksi (%R) konsentrasi nitrat semakin meningkat pula. Hasil penelitian yang dilaporkan oleh Nasrul (2002), menyatakan bahwa jika tekanan operasi membran ditingkatkan, maka efisiensi penyisihan juga meningkat. Pengaruh tekanan operasi terhadap persentase rejeksi konsentrasi nitrat dapat dilihat pada nilai koefisien korelasi antara tekanan dengan persentase rejeksi konsentrasi nitrat. Pada tabel 4.21 terlihat nilai koefisien korelasi yang diperoleh sebesar 0,867. Nilai koefisien berada diantara 0,7 – 0,9 yang artinya hubungan kedua variabel kuat (*Ahmad Z. S., 2005*). Peningkatan persentase rejeksi disebabkan oleh terjadinya kompaksi pada membran. Kompaksi merupakan perubahan bentuk susunan mekanik membran yang terjadi pada operasi membran bertekanan (*Mulder, 1996*). Pada membran yang terkompakkan, kedudukan rantai-rantai polimer semakin rapat sehingga kekuatan ikatan sekunder antara gugus polar dari satu rantai dengan rantai lainnya semakin meningkat. Hal ini menyebabkan kefleksibelan rantai polimer tersebut berkurang, sehingga tahanan perpindahan di dalam membran lebih tinggi dan *solute* (kontaminan) lebih susah berdifusi di dalamnya (*Nasrul, 2002*).

Selain itu pula tekanan yang semakin besar akan meningkatkan *fouling* pada membran. Hal ini disebabkan oleh pada tekanan yang tinggi akan memberikan gaya yang besar pada *solvent* (larutan) dan *solute* (kontaminan) untuk melalui pori-pori membran. Dalam penelitian Vina C. (2004) dinyatakan

bahwa pada tekanan rendah, kemungkinan terbentuknya *fouling* atau polarisasi konsentrasi di permukaan membran adalah kecil akibat lemahnya tekanan yang diberikan terhadap partikel yang melewati membran. *Solute* yang tertahan akan membentuk *cake layer* dan penyempitan pori membran, sehingga akan membentuk membran kedua selain membran mikrofiltrasi (Scott, 1995). Membran kedua inilah yang turut membantu dalam menyaring *solute* yang melalui membran mikrofiltrasi. Penelitian yang dilakukan oleh Yusuf N.S. (2004) menyatakan bahwa *fouling* dapat berguna sebagai filter sebelum masuk ke dalam membran.

Terjadinya kompaksi tidak membuat kerusakan pada membran, karena *range* tekanan yang diberikan masih dalam batas kewajaran yaitu 0,5 bar hingga 3 bar. Sedangkan membran mikrofiltrasi memiliki *range* tekanan 0,5 bar hingga 5 bar (Zaini Ujang, 2004).

Waktu operasi yang semakin lama juga mempengaruhi persentase rejeksi (%R). Persentase rejeksi meningkat seiring lamanya waktu operasi. Pengaruh waktu operasi membran terhadap persentase rejeksi konsentrasi nitrat dapat dilihat pada nilai koefisien korelasi antara waktu dengan persentase rejeksi konsentrasi nitrat. Pada tabel 4.21 terlihat nilai koefisien korelasi yang diperoleh sebesar 0,861. Nilai koefisien berada diantara 0,7 – 0,9 yang artinya hubungan kedua variabel kuat (Ahmad Z. S., 2005). Waktu operasi membran yang lama justru akan membuat *cake layer* bertambah tebal dan pori-pori membran semakin kecil (Mulder, 1996). *Solute* banyak tertahan di *cake layer* yang tebal dan pori-pori membran, sehingga konsentrasi nitrat yang keluar dari membran kecil atau persentase rejeksi yang diperoleh besar. Hal inilah yang menyebabkan persentase rejeksi meningkat selama waktu operasi. Hasil penelitian yang dilaporkan oleh Vina C. (2004), menunjukkan bahwa seiring dengan bertambahnya waktu operasi maka *cake layer* dapat terus bertambah dan memadat serta dapat berfungsi sebagai membran kedua sehingga meningkatkan efisiensi penurunan nitrat.

Selain pengaruh tekanan operasi dan waktu operasi, ketebalan membran juga mempunyai pengaruh terhadap persentase rejeksi nitrat (%R). Persentase rejeksi meningkat dengan bertambahnya ketebalan membran. Seperti yang dilaporkan oleh Gangsar Santoso (2001) menyatakan bahwa ketebalan membran akan meningkatkan perselektivitas (efisiensi rejeksi) dari membran. Pada tabel

4.21 terlihat nilai koefisien korelasi yang diperoleh sebesar 0,657. nilai koefisien berada diantara 0,4 – 0,7 yang artinya hubungan kedua variabel sedang. (Ahmad Z. S., 2005).

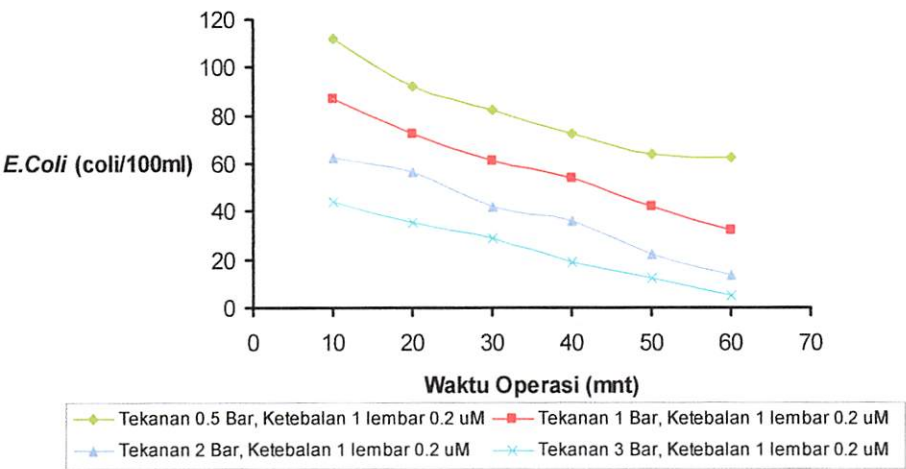
Keberadaan nitrat pada air sungai dapat berkaitan erat dengan siklus nitrogen dalam alam. Dalam siklus tersebut dapat diketahui bahwa nitrat dapat terjadi baik dari  $N_2$  atmosfer maupun dari pupuk-pupuk (fertilizer) yang digunakan dan dari oksidasi  $NO_2$  oleh bakteri dari kelompok *nitrobakter*. Pada umumnya kadar nitrat yang lebih dari 5 mg/l menggambarkan terjadinya pencemaran antropogenik yang berasal dari aktivitas manusia dan tinja hewan sedangkan kadar nitrat yang melebihi 0,2 mg/l dapat mengakibatkan terjadinya eutrofikasi (pengayaan) perairan, yang selanjutnya menstimulir pertumbuhan algae dan tumbuhan air secara pesat (blooming) (Totok Sutrisno dan Eni suciastuti, 1987). Nilai konsentrasi nitrat yang terdapat pada tabel 4.5 menunjukkan bahwa sejumlah nitrat telah lolos dari filtrasi membran. Nitrat yang lolos tersebut tentunya memiliki diameter yang lebih kecil dari 0,2  $\mu m$  seperti pupuk yang merupakan jenis molekul organik dengan *range* dimensi 0,3 – 0,8 nm dan bakteri kelompok *nitrobacter* dengan *range* dimensi 300 – 10000 nm (Mulder, 1996). Namun tidak seluruhnya molekul organik atau bakteri yang lolos dari pori-pori membran, karena sebagian dimungkinkan tertahan pada *cake layer* dan pori-pori membran. Tertahannya nitrat pada *cake layer* dan pori-pori membran dapat dijelaskan sebagai berikut; pupuk dan bakteri dari kelompok *nitrobakter* (penyebab terbentuknya nitrat diperairan) yang terdapat yang terdapat dalam air sungai (umpan) akan tertambat pada permukaan membran, seterusnya akan bergabung dan terakumulasi (Flemming dalam Nasrul, 2002). Proses penambatan ini selain pengaruh gravitasi juga karena aliran umpan akibat dari pemberian tekanan.

Untuk memprediksi persentase rejeksi konsentrasi nitrat berdasarkan variasi tekanan, lamanya waktu operasi dan tebalnya membran dapat menggunakan persamaan regresi. Hasil analisa regresi menunjukkan bahwa 84,1% nilai persentase rejeksi konsentrasi nitrat dipengaruhi oleh variabel tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran.

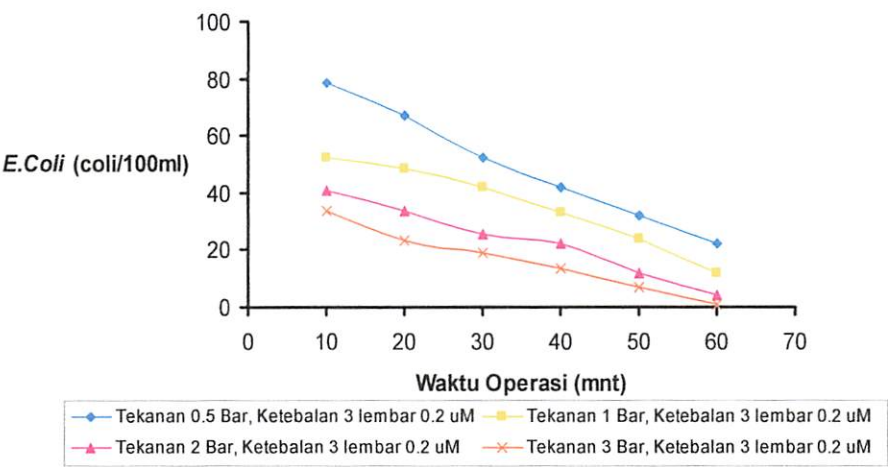
4.10. Analisa Penurunan *E. Coli*

4.10.1. Analisa Deskriptif

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa, membran mikrofiltrasi mempunyai kemampuan menurunkan *E. Coli* pada air sungai pada setiap perlakuan variasi. Jumlah akhir *E. Coli* dapat dilihat pada tabel 4.6 yang diplotkan ke grafik seperti pada gambar 4.11 dan 4.12.



Gambar 4.11 Grafik Jumlah *E. Coli* Pada Ketebalan 1 Lembar 0,2  $\mu\text{m}$



Gambar 4.12 Grafik Jumlah *E. Coli* Pada Ketebalan 3 Lembar 0,2  $\mu\text{m}$

Berdasarkan tabel 4.6 dan gambar 4.11 serta gambar 4.12 menunjukkan bahwa jumlah *E. Coli* semakin menurun seiring dengan meningkatnya tekanan operasi, waktu operasi dan juga ketebalan membran. jumlah *E. Coli* terendah sebesar 1 coli/100ml terdapat pada perlakuan tekanan 3 bar, waktu operasi 60 menit dengan ketebalan membran 3 lembar 0,2  $\mu\text{m}$ . Sedangkan jumlah *E. Coli*

tertinggi sebesar 112 coli/100ml terdapat pada perlakuan tekanan 0,5 bar, waktu operasi 10 menit dengan ketebalan membran 1 lembar 0,2  $\mu m$ .

Untuk mengetahui efisiensi membran dalam menurunkan *E.Coli* berdasarkan variasi tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran, maka dilakukan perhitungan persentase rejeksi (%R) membran. Perhitungan persentase rejeksi menggunakan persamaan 4 yaitu:

$$\% R = 1 - \left( \frac{C_p}{C_f} \right) \text{ (Zaini Ujang, 2004)}$$

Dimana:

%R = persentase rejeksi

$C_p$  = konsentrasi *permeate*;  $C_f$  = konsentrasi umpan (*feed*)

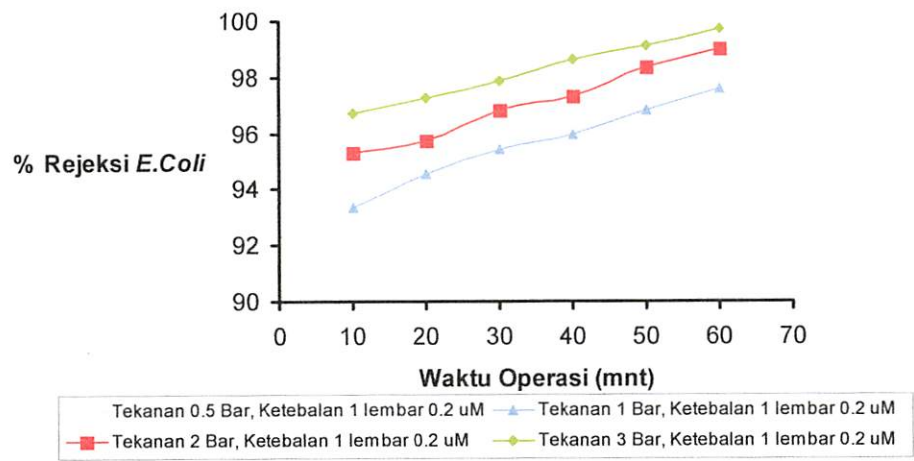
Hasil perhitungan persentase rejeksi *E. Coli* dapat dilihat pada tabel 4.24 dan gambar 4.13 serta 4.14:

Tabel 4.24 Nilai Persentase Rejeksi (%R) *E. Coli*

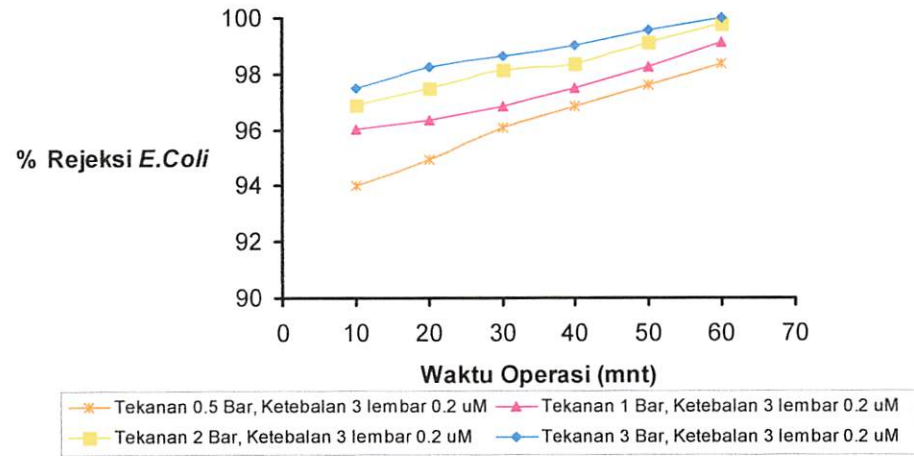
| Tekanan<br>(Bar) | Ketebalan<br>(Lembar 0,2 $\mu\text{m}$ ) | Waktu<br>(menit) | Persentase Rejeksi <i>E. Coli</i><br>(%) |       |       | Rata-<br>Rata<br>(%) |
|------------------|------------------------------------------|------------------|------------------------------------------|-------|-------|----------------------|
|                  |                                          |                  | I                                        | II    | III   |                      |
| 0.5              | 1                                        | 10               | 91.54                                    | 91.15 | 91.54 | 91.41                |
|                  |                                          | 20               | 93.08                                    | 93.08 | 92.69 | 92.95                |
|                  |                                          | 30               | 93.85                                    | 93.46 | 93.85 | 93.72                |
|                  |                                          | 40               | 94.62                                    | 94.62 | 94.23 | 94.49                |
|                  |                                          | 50               | 95.00                                    | 95.38 | 95.00 | 95.13                |
|                  |                                          | 60               | 95.00                                    | 95.77 | 95.00 | 95.26                |
| 1                | 1                                        | 10               | 93.46                                    | 93.46 | 93.08 | 93.33                |
|                  |                                          | 20               | 94.62                                    | 94.62 | 94.23 | 94.49                |
|                  |                                          | 30               | 95.31                                    | 95.38 | 95.38 | 95.36                |
|                  |                                          | 40               | 95.77                                    | 96.15 | 95.77 | 95.90                |
|                  |                                          | 50               | 96.92                                    | 96.54 | 96.92 | 96.79                |
|                  |                                          | 60               | 97.69                                    | 97.69 | 97.31 | 97.56                |
| 2                | 1                                        | 10               | 95.38                                    | 95.38 | 95.00 | 95.26                |
|                  |                                          | 20               | 95.54                                    | 95.77 | 95.77 | 95.69                |
|                  |                                          | 30               | 96.54                                    | 96.92 | 96.92 | 96.79                |
|                  |                                          | 40               | 97.15                                    | 97.31 | 97.31 | 97.26                |
|                  |                                          | 50               | 98.08                                    | 98.46 | 98.46 | 98.33                |
|                  |                                          | 60               | 98.85                                    | 99.23 | 98.85 | 98.97                |
| 3                | 1                                        | 10               | 96.92                                    | 96.54 | 96.54 | 96.67                |
|                  |                                          | 20               | 97.00                                    | 97.31 | 97.31 | 97.21                |
|                  |                                          | 30               | 97.69                                    | 97.69 | 98.08 | 97.82                |
|                  |                                          | 40               | 98.46                                    | 98.46 | 98.85 | 98.59                |
|                  |                                          | 50               | 99.23                                    | 99.23 | 98.85 | 99.10                |
|                  |                                          | 60               | 99.62                                    | 99.62 | 99.77 | 99.67                |
| 0.5              | 3                                        | 10               | 93.85                                    | 93.85 | 94.23 | 93.97                |
|                  |                                          | 20               | 94.62                                    | 95.00 | 95.00 | 94.87                |
|                  |                                          | 30               | 96.15                                    | 96.15 | 95.77 | 96.03                |
|                  |                                          | 40               | 96.92                                    | 96.92 | 96.54 | 96.79                |
|                  |                                          | 50               | 97.31                                    | 97.69 | 97.69 | 97.56                |
|                  |                                          | 60               | 98.08                                    | 98.46 | 98.46 | 98.33                |
| 1                | 3                                        | 10               | 95.77                                    | 96.15 | 96.08 | 96.00                |
|                  |                                          | 20               | 96.15                                    | 96.15 | 96.54 | 96.28                |
|                  |                                          | 30               | 96.92                                    | 96.92 | 96.62 | 96.82                |
|                  |                                          | 40               | 97.38                                    | 97.31 | 97.69 | 97.46                |
|                  |                                          | 50               | 98.08                                    | 98.08 | 98.46 | 98.21                |
|                  |                                          | 60               | 98.85                                    | 99.23 | 99.23 | 99.10                |
| 2                | 3                                        | 10               | 96.92                                    | 96.92 | 96.77 | 96.87                |
|                  |                                          | 20               | 97.31                                    | 97.31 | 97.69 | 97.44                |
|                  |                                          | 30               | 97.69                                    | 98.46 | 98.08 | 98.08                |
|                  |                                          | 40               | 98.46                                    | 98.46 | 98.08 | 98.33                |
|                  |                                          | 50               | 99.23                                    | 99.23 | 98.85 | 99.10                |
|                  |                                          | 60               | 99.62                                    | 99.62 | 99.92 | 99.72                |
| 3                | 3                                        | 10               | 97.31                                    | 97.31 | 97.69 | 97.44                |
|                  |                                          | 20               | 98.08                                    | 98.46 | 98.15 | 98.23                |
|                  |                                          | 30               | 98.46                                    | 98.46 | 98.85 | 98.59                |
|                  |                                          | 40               | 98.85                                    | 98.85 | 99.23 | 98.97                |

|  |  |    |       |       |        |       |
|--|--|----|-------|-------|--------|-------|
|  |  | 50 | 99.23 | 99.62 | 99.62  | 99.49 |
|  |  | 60 | 99.92 | 99.92 | 100.00 | 99.95 |

Sumber: Hasil Penelitian



**Gambar 4.13 Grafik Persentase Rejeksi (%R) *E. Coli***  
**Pada Ketebalan 1 Lembar 0,2  $\mu$ m**



**Gambar 4.14 Grafik Persentase Rejeksi (%R) *E. Coli***  
**Pada Ketebalan 3 Lembar 0,2  $\mu$ m**

Berdasarkan tabel 4.24 dan gambar 4.13 serta 4.14 didapatkan persentase rejeksi *E. Coli* berada diantara 91,41% - 99,45%. Untuk persentase rejeksi terendah sebesar 91,45% terjadi pada perlakuan tekanan 0,5 bar, waktu operasi 10 menit dengan ketebalan 1 lembar 0,2  $\mu$ m. Sedangkan untuk persentase rejeksi

tertinggi sebesar 99,45% terjadi pada perlakuan tekanan 3 bar, waktu operasi 60 menit dengan ketebalan 3 lembar 0,2  $\mu m$ .

#### 4.10.2. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh berbagai perlakuan dalam menghasilkan persentase penurunan *E. Coli*, maka dilakukan analisa dengan menggunakan uji ANOVA satu faktor. Untuk dapat menggunakan uji ANOVA, diperlukan terlebih dahulu pengujian kesamaan variansi. Hal ini dilakukan agar kehomogenan nilai data antar peubah acak dapat dipastikan hampir sama sehingga layak untuk diamati kesamaan perilaku antar peubah acak tadi (*Ahmad Z., 2005*). Hasil uji kesamaan variansi dapat dilihat pada tabel 4.25

**Tabel 4.25 Hasil Uji Kesamaan Variansi**

| Test of Homogeneity of Variances |     |     |      |
|----------------------------------|-----|-----|------|
| Rejeksi <i>E.Coli</i>            |     |     |      |
| Levene Statistic                 | df1 | df2 | Sig. |
| 1.412                            | 5   | 138 | .224 |

Hipotesis hasil uji kesamaan variansi:

- $H_0$  = Ke-48 varians perlakuan adalah identik.
- $H_1$  = Ke-48 varians perlakuan adalah tidak identik.

Dasar pengambilan keputusan:

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Keputusan:

Terlihat bahwa pada tabel 4.25 nilai probabilitas untuk rejeksi *E. Coli* sebesar 0,224 oleh karena probabilitas rejeksi *E. Coli*  $> 0,05$ , maka  $H_0$  diterima. Atau, ke-48 varians populasi adalah sama. Dengan demikian, asumsi kesamaan varians untuk uji ANOVA sudah terpenuhi. Artinya pengulangan tiga kali yang dilakukan untuk mengukur nilai rejeksi *E. Coli* pada masing-masing perlakuan dan dilakukan pengrata-rataan, kemudian nilai rata-rata tersebut dianggap mewakili dari nilai rejeksi *E. Coli* masing-masing perlakuan tersebut.

Setelah ke-48 varians perlakuan terbukti sama, baru dilakukan uji ANOVA untuk menguji apakah ke-48 perlakuan mempunyai rata-rata (*mean*) yang sama. Sebagai indikator adalah jika nilai rata-rata ke-48 perlakuan sama atau identik, maka variabel tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran dapat dikatakan tidak mempengaruhi nilai rejeksi *E. Coli*. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada tabel 4.26.

**Tabel 4.26 Hasil Uji ANOVA Persentase Rejeksi (%R) *E. Coli***

| Source    | DF  | SS       | MS      | F      | P     |
|-----------|-----|----------|---------|--------|-------|
| Perlakuan | 47  | 574.9783 | 11.6591 | 244.81 | 0.000 |
| Error     | 96  | 4.5720   | 0.0476  |        |       |
| Total     | 143 | 552.5503 |         |        |       |

Hipotesis hasil uji ANOVA:

- $H_0$  = Ke-48 perlakuan adalah identik.
- $H_1$  = Ke-48 perlakuan adalah tidak identik.

Dasar pengambilan keputusan:

Berdasarkan pada perbandingan F hitung dengan F tabel.

- Jika statistik hitung (angka *F output*) > statistik tabel (tabel F),  $H_0$  ditolak.
- Jika statistik hitung (angka *F output*) < statistik tabel (tabel F),  $H_0$  diterima.

Keputusan:

Berdasarkan tabel 4.26 nilai F hitung adalah 244,81. Jika dilihat F hitung pada tabel F adalah 1,49 dengan  $\alpha$  toleransi 5% atau 0,05. Karena nilai F hitung *output* lebih besar dari F hitung tabel, maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal ( $H_0$ ) dan menerima hipotesis  $H_1$  yaitu ke-48 perlakuan memiliki rata-rata yang tidak identik. Kesimpulannya adalah bahwa nilai rata-rata ke-48 perlakuan dipengaruhi oleh nilai variabel tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran.

#### 4.10.3. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui tingkat kekuatan hubungan antara variabel terikat (persentase rejeksi (%R) *E. Coli*) dengan variabel bebas (tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran), maka digunakan analisa korelasi. Hasil analisa korelasi dapat ditampilkan pada tabel 4.27.

**Tabel 4.27 Korelasi antara Persentase Rejeksi (%R) *E. Coli*, Tekanan, Waktu Operasi dan Ketebalan Membran**

|                          |                     | Tekanan (Bar) | Waktu Operasi (mnt) | Ketebalan Membran (lembar) |
|--------------------------|---------------------|---------------|---------------------|----------------------------|
| % Rejeksi <i>E. Coli</i> | Pearson correlation | 0,807         | 0,834               | 0,808                      |
|                          | P-Value             | 0,000         | 0,000               | 0,015                      |

Dari tabel 4.27 menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara variabel dapat diketahui dari koefisien korelasi dengan penjelasan sebagai berikut:

- o Nilai koefisien korelasi antara persentase rejeksi *E. Coli* dengan variasi tekanan adalah 0,867. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara kedua variabel kuat karena berada diantara 0,7 dengan 0,9 (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan tidak adanya nilai negatif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin besar tekanannya maka persentase rejeksi *E. Coli* yang dihasilkan meningkat pula. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- $H_0$  = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- $H_1$  = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.27 memperlihatkan bahwa nilai probabilitas adalah 0,000. Karena nilai P lebih kecil dari  $\alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ), maka  $H_0$  ditolak dan menerima hipotesis alternatif ( $H_1$ ) yang menyatakan ada korelasi antara dua variabel (signifikan). Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah 80,7% peningkatan persentase rejeksi *E. Coli* dipengaruhi oleh variasi tekanan.

- o Nilai koefisien korelasi antara persentase rejeksi *E. Coli* dengan variasi waktu operasi adalah 0,834. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara kedua variabel kuat karena berada diantara 0,7 dengan 0,9 (Achmad Z. S,

2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan adanya tanda positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin lama waktu operasi maka persentase yang dihasilkan akan semakin meningkat pula. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- $H_0$  = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- $H_1$  = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.27 memperlihatkan bahwa nilai probabilitas adalah 0,000. Karena nilai P lebih kecil dari  $\alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ), maka  $H_0$  ditolak dan menerima hipotesis alternatif ( $H_1$ ) yang menyatakan ada korelasi antara dua variabel (signifikan). Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah 83,4% penurunan persentase rejeksi *E. Coli* pada masing-masing tekanan dan ketebalan membran dipengaruhi oleh waktu operasi.

- Nilai koefisien korelasi antara persentase rejeksi konsentrasi *E. Coli* dengan ketebalan membran adalah 0,808. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan kedua variabel kuat karena berada diantara 0,7 dengan 0,9 (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan adanya tanda positif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin tebal membran maka persentase yang dihasilkan akan semakin meningkat pula. Agar lebih meyakinkan perlu dilakukan uji hipotesis:

Hipotesis hasil uji korelasi:

- $H_0$  = Tidak ada korelasi antara dua variabel.
- $H_1$  = Ada korelasi antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan:

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Keputusan:

Hasil analisis korelasi pada tabel 4.27 memperlihatkan bahwa nilai probabilitas adalah 0,015. Karena nilai P lebih kecil dari  $\alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ), maka  $H_0$  ditolak dan menerima hipotesis alternatif ( $H_1$ ) yang menyatakan ada korelasi antara dua variable (signifikan). Oleh karena itu, kesimpulan yang diperoleh dari uji hipotesis ini adalah 80,8 % penurunan persentase rejeksi *E. Coli* pada masing-masing tekanan dan waktu operasi dipengaruhi oleh ketebalan membran.

4.10.4. Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikansi prediksi dari hubungan/korelasi data. Taksiran paramater model yang digunakan adalah regresi berganda, karena memiliki lebih dari 1 variabel bebas. Hasil analisa tersebut dapat dilihat pada tabel 4.28.

Tabel 4.28 Koefisien Persamaan Regresi Persentase Rejeksi (%R) *E. Coli*

| Predictor                  | Coef     | SE Coef  | T      | P     | VIF |
|----------------------------|----------|----------|--------|-------|-----|
| Constant                   | 90.9115  | 0.1672   | 543.70 | 0,000 |     |
| Tekanan (Bar)              | 1.30062  | 0.04976  | 26.14  | 0,000 | 1.0 |
| Waktu Operasi (mnt)        | 0.068516 | 0.002800 | 24.47  | 0,000 | 1.0 |
| Ketebalan Membran (lembar) | 0.74213  | 0.04781  | 15.52  | 0,000 | 1.0 |

S = 30.8149    R-Sq = 91.6%    R-Sq(adj) = 91.6%

Dari tabel di atas dapat kita ketahui:

1. Uji multikolinear

Multikolinear adalah kejadian adanya korelasi kuat antarvariabel prediktor. Jika antarvariabel prediktor berkorelasi, maka taksiran parameter model tidak tepat (Nur I. dan Septin P.A., 2006). Untuk mengidentifikasi adanya multikolinear maka digunakan *Variance Inflation Factor* (VIF). Apabila VIF > 1, berarti ada korelasi antarvariabel prediktor sehingga ada ketidaksesuaian model (Nur I. dan Septin P.A., 2006). Pada tabel 4.28 terlihat bahwa nilai VIF untuk variabel tekanan dan waktu berturut-turut adalah 1,0, 1,0 dan 1,0

sehingga dapat dikatakan bahwa tidak ada multikolinear dan taksiran model regresi berganda yang digunakan tepat.

## 2. Persamaan Regresi

$$Y = 90,9 + 1,30X_1 + 0,0685X_2 + 0,742X_3$$

Dimana:

$Y$  = persentase rejeksi konsentrasi *E. Coli*

$X_1$  = variasi tekanan (bar)

$X_2$  = variasi waktu operasi (mnt)

$X_3$  = variasi ketebalan membran (lembar)

Berdasarkan hasil analisa regresi, konstanta sebesar 90,9 menyatakan bahwa jika variasi tekanan, variasi waktu operasi dan variasi ketebalan membran konstan maka persentase rejeksi *E. Coli* adalah 90,9%. Koefisien regresi sebesar 1,30 untuk variabel tekanan ( $X_1$ ) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 bar tekanan akan meningkatkan persentase rejeksi *E. Coli* sebesar 1,30% dengan anggapan variabel lain besarnya konstan. Sedangkan koefisien regresi 0,0685 untuk variabel waktu operasi ( $X_2$ ) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 menit akan meningkatkan persentase rejeksi *E. Coli* sebesar 0,0685% dengan anggapan variabel lain besarnya konstan. Koefisien regresi 0,742 untuk variabel ketebalan membran ( $X_3$ ) menyatakan bahwa setiap penambahan 1 lembar ketebalan akan meningkatkan persentase rejeksi *E. Coli* sebesar 0,742% dengan anggapan variabel lain besarnya konstan.

## 3. Uji t untuk menguji signifikan konstanta dan variabel independent.

Hipotesis:

- $H_0$  = koefisien regresi tidak signifikan
- $H_1$  = koefisien regresi signifikan

Pengambilan keputusan:

1. Dengan membandingkan statistik t hitung dengan statistik t tabel. Jika statistik t hitung < statistik t tabel, maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak. Jika statistik t hitung > statistik t tabel, maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima. Nilai t tabel adalah 1,977 sedangkan nilai t hitung berdasarkan tabel 4.28 adalah 543,70 (konstanta), 26,14 (variasi tekanan), 24,47 (variasi waktu operasi)

dan 15,52 (variasi ketebalan membran). Semua nilai  $t$  hitung lebih besar dari  $t$  tabel, maka koefisien regresi signifikan.

2. Berdasarkan probabilitas

- Jika probabilitas  $> 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_0$  ditolak.

Terlihat bahwa pada kolom  $P$  (tabel 4.28) adalah 0,000 yang berarti probabilitas jauh di bawah 0,05. Dengan demikian,  $H_0$  ditolak, atau koefisien regresi signifikan, atau variasi tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran benar-benar berpengaruh secara signifikan terhadap persentase rejeksi *E. Coli*.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai  $R$  square sebesar 91,6%, hal ini berarti 91,6%, persentase rejeksi *E. Coli* dapat dijelaskan oleh variasi tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran. Sedangkan sisanya 9,4% dijelaskan oleh faktor-faktor yang lain yang tidak masuk ke dalam model.

4. Uji linearitas

Berdasarkan analisa regresi, selanjutnya dilakukan uji linearitas untuk melihat bentuk dari outputnya linier atau tidak dan juga untuk melihat dapat tidaknya memprediksi persentase rejeksi berikutnya. Hasil dari uji tersebut dapat dilihat dari tabel 4.29 berikut ini:

**Tabel 4.29 Hasil Uji Kelinearian Analisa Regresi Persentase Rejeksi (%R)**  
***E. Coli***

| Source     | DF  | SS    | MS    | F      | P     |
|------------|-----|-------|-------|--------|-------|
| Regression | 3   | 48380 | 16127 | 505.67 | 0.000 |
| Residual   | 140 | 4465  | 32    |        |       |
| Total      | 143 | 52845 |       |        |       |

Dari uji kelinearian untuk analisa regresi atau  $F$  test, didapat nilai  $F$  hitung 505.67. Dari tabel distribusi  $F$  didapatkan nilai  $F$  tabel 2,67. Karena  $F$  hitung lebih besar dari  $F$  tabel, maka kesimpulannya adalah variabel  $Y$  (variabel terikat) dengan  $X$  (variabel bebas) mempunyai hubungan linier atau persentase rejeksi *E. Coli* dengan tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran mempunyai

hubungan linier. Nilai probabilitas 0,000 jauh lebih kecil dari 0,05, maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksi persentase rejeksi *E. Coli*.

#### 4.11. Pembahasan Konsentrasi *E. Coli*

Pada tabel 4.24 dan gambar 4.13 serta 4.14 terlihat bahwa tekanan yang makin meningkat, waktu operasi yang semakin lama dan semakin tebalnya membran membuat persentase rejeksi (%R) *E. Coli* semakin meningkat pula. Hal ini ditunjukkan dengan persentase rejeksi terbesar terjadi pada tekanan 3 bar, menit ke-60 dengan ketebalan 3 lembar 0,2  $\mu\text{m}$  yaitu 99,95% dan persentase rejeksi terkecil terjadi pada tekanan 0,5 bar, menit ke-10 dengan ketebalan 1 lembar 0,2  $\mu\text{m}$  yaitu 91,41%.

Peningkatan tekanan operasi akan menyebabkan persentase rejeksi (%R) *E. Coli* semakin meningkat pula. Hasil penelitian yang dilaporkan oleh Nasrul (2002), menyatakan bahwa jika tekanan operasi membran ditingkatkan, maka efisiensi penyisihan juga meningkat. Pengaruh tekanan operasi terhadap persentase rejeksi *E. Coli* dapat dilihat pada nilai koefisien korelasi antara tekanan dengan persentase rejeksi *E. Coli*. Pada tabel 4.27 terlihat nilai koefisien korelasi yang diperoleh sebesar 0,807. Nilai koefisien berada diantara 0,7 – 0,9 yang artinya hubungan kedua variable kuat (Ahmad Z. S. ,2005). Peningkatan persentase rejeksi disebabkan oleh terjadinya kompaksi pada membran. Kompaksi merupakan perubahan bentuk susunan mekanik membran yang terjadi pada operasi membran bertekanan (Mulder, 1996). Pada membran yang terkompakkan, kedudukan rantai-rantai polimer semakin rapat sehingga kekuatan ikatan sekunder antara gugus polar dari satu rantai dengan rantai lainnya semakin meningkat. Hal ini menyebabkan kefleksibelan rantai polimer tersebut berkurang, sehingga tahanan perpindahan di dalam membran lebih tinggi dan *solute* (kontaminan) lebih susah berdifusi di dalamnya (Nasrul, 2002).

Selain itu pula tekanan yang semakin besar akan meningkatkan *fouling* pada membran. Hal ini disebabkan oleh pada tekanan yang tinggi akan memberikan gaya yang besar pada *solvent* (larutan) dan *solute* (kontaminan) untuk melalui pori-pori membran. Dalam penelitian Vina C. (2004) dinyatakan bahwa pada tekanan rendah, kemungkinan terbentuknya *fouling* atau polarisasi

konsentrasi di permukaan membran adalah kecil akibat lemahnya tekanan yang diberikan terhadap bakteri yang melewati membran. *Solute* yang tertahan akan membentuk *cake layer* dan penyempitan pori membran, sehingga akan membentuk membran kedua selain membran mikrofiltrasi (Scott, 1995). Membran kedua inilah yang turut membantu dalam menyaring *solute* yang melalui membran mikrofiltrasi. Penelitian yang dilakukan oleh Yusuf N.S. (2004) menyatakan bahwa *fouling* dapat berguna sebagai filter sebelum masuk ke dalam membran.

Terjadinya kompaksi tidak membuat kerusakan pada membran, karena *range* tekanan yang diberikan masih dalam batas kewajaran yaitu 0,5 bar hingga 3 bar. Sedangkan membran mikrofiltrasi memiliki *range* tekanan 0,5 bar hingga 5 bar (Zaini Ujang, 2004).

Waktu operasi yang semakin lama juga mempengaruhi persentase rejeksi (%R). Persentase rejeksi meningkat seiring lamanya waktu operasi. Pengaruh waktu operasi membran terhadap persentase rejeksi *E. Coli* dapat dilihat pada nilai koefisien korelasi antara waktu dengan persentase rejeksi *E. Coli*. Pada tabel 4.27 terlihat nilai koefisien korelasi yang diperoleh sebesar 0,834. Nilai koefisien berada diantara 0,7 – 0,9 yang artinya hubungan kedua variabel kuat (Ahmad Z. S., 2005). Waktu operasi membran yang lama justru akan membuat *cake layer* bertambah tebal dan pori-pori membran semakin kecil (Mulder, 1996). *Solute* banyak tertahan di *cake layer* yang tebal dan pori-pori membran, sehingga *E. Coli* yang keluar dari membran kecil atau persentase rejeksi yang diperoleh besar. Hal inilah yang menyebabkan persentase rejeksi meningkat selama waktu operasi. Hasil penelitian yang dilaporkan oleh Vina C. (2004), menunjukkan bahwa seiring dengan bertambahnya waktu operasi maka *cake layer* dapat terus bertambah dan memadat serta dapat berfungsi sebagai membran kedua sehingga meningkatkan efisiensi penurunan *E. Coli*.

Selain pengaruh tekanan operasi dan waktu operasi, ketebalan membran juga mempunyai pengaruh terhadap persentase rejeksi *E. Coli* (%R). Persentase rejeksi meningkat dengan bertambahnya ketebalan membran. Seperti yang dilaporkan oleh Gangsar Santoso (2001) menyatakan bahwa ketebalan membran akan meningkatkan perselektivitas (efisiensi rejeksi) dari membran. Pada tabel 4.28 terlihat nilai koefisien korelasi yang diperoleh sebesar 0,808. nilai koefisien

berada diantara 0,7 – 0,9 yang artinya hubungan kedua variabel kuat. (Ahmad Z. S., 2005). Perbedaan penyisihan bakteri *E. Coli* pada ketebalan 1 lembar dengan ketebalan 3 lembar disebabkan pada ketebalan 3 lembar, membran memiliki jumlah pori yang semakin banyak dan ukuran pori yang semakin rapat, sehingga bakteri akan tertahan dipermukaan membran. Penggunaan lebih dari satu lapisan membran memberikan reabilitas retensi mikroba yang cukup tinggi (Scott, 1995).

Sumber utama bakteri *Coli* air sungai berasal dari kotoran manusia maupun kotoran hewan yang dibuang melalui air limbah rumah tangga atau peternakan (Totok Sutrisno dan Eni suciastuti, 1987). Jumlah *E. Coli* yang terdapat pada tabel 4.6 menunjukkan bahwa sejumlah *E. Coli* dapat lolos dari filtrasi membran. Bakteri yang lolos tersebut tentunya memiliki diameter yang lebih kecil dari 0,2  $\mu\text{m}$  (Mulder, 1996). Namun tidak seluruhnya *E. Coli* dapat lolos dari pori-pori membran, karena sebagian dimungkinkan tertahan pada *cake layer* dan pori-pori membran. Tertahannya bakteri *E. Coli* pada *cake layer* dan pori-pori membran dapat dijelaskan sebagai berikut; bakteri *E. Coli* yang terdapat yang terdapat dalam air sungai (umpan) menambatkan diri satu persatu pada permukaan membran, seterusnya tumbuh dan bergabung dengan bakteri lainnya membentuk *multiple* bakteri (Flemming dalam Nasrul, 2002). Proses penambatan bakteri ini selain pengaruh gravitasi juga karena aliran umpan akibat dari pemberian tekanan.

Untuk memprediksi persentase rejeksi *E. Coli* berdasarkan variasi tekanan, lamanya waktu operasi dan tebalnya membran, dapat menggunakan persamaan regresi. Hasil analisa regresi menunjukkan bahwa 91,6% nilai persentase rejeksi *E. Coli* dipengaruhi oleh variabel tekanan, waktu operasi dan ketebalan membran.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Teknologi membran mikrofiltrasi dari bahan selulosa nitrat mampu menurunkan kandungan kekeruhan, nitrat dan bakteri *E. coli* dari air sungai setelah diolah pada *roughing filter* aliran *upflow* dengan persentase rejeksi (%R):
  - a. kekeruhan sebesar 73,59%-98,69% (13,43-0,67 NTU).
  - b. nitrat sebesar 57,50%-94,81% (6,315-0,771 mg/l).
  - c. dan bakteri *E. coli* sebesar 91,41%-99,95% (112-1 coli/100ml).
2. Dengan tekanan 3 bar ketebalan membran 3 lembar 0,2  $\mu\text{m}$  dan kualitas effluent filter membran mikrofiltrasi untuk parameter kekeruhan, nitrat dan bakteri *E. Coli* yang masih cukup baik maka fluks yang terjadi untuk pengoperasian setelah 10 menit  $\pm 5665,96 \text{ L/m}^2\cdot\text{jam}$ .
3.
  - a. Semakin besar tekanan, waktu operasi yang semakin lama dan ketebalan membran yang semakin tebal akan meningkatkan persentase rejeksi (%R) dari kekeruhan, nitrat dan bakteri *E. Coli*.
  - b. Semakin besar tekanan akan menghasilkan nilai fluks yang semakin besar pula, namun waktu operasi yang semakin lama dan ketebalan membran yang semakin tebal akan menurunkan nilai fluks.

### **5.2. SARAN**

Untuk lebih menyempurnakan penelitian masih perlu dilakukan mengenai:

1. Pengoperasikan membran dengan variasi tekanan yang lebih dari 3 bar, waktu operasi yang lebih lama dari 60 menit dan ketebalan membran yang lebih dari 3 lembar.
2. Menggunakan jenis *pretreatment* yang berbeda.

3. Penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan membran mikrofiltrasi sebagai filter untuk mengolah air sungai dengan parameter-parameter lain agar bisa diaplikasikan lebih luas.
4. Mencoba menggunakan sistem pengaliran membran secara *cross flow*.

## DAFTAR PUSTAKA

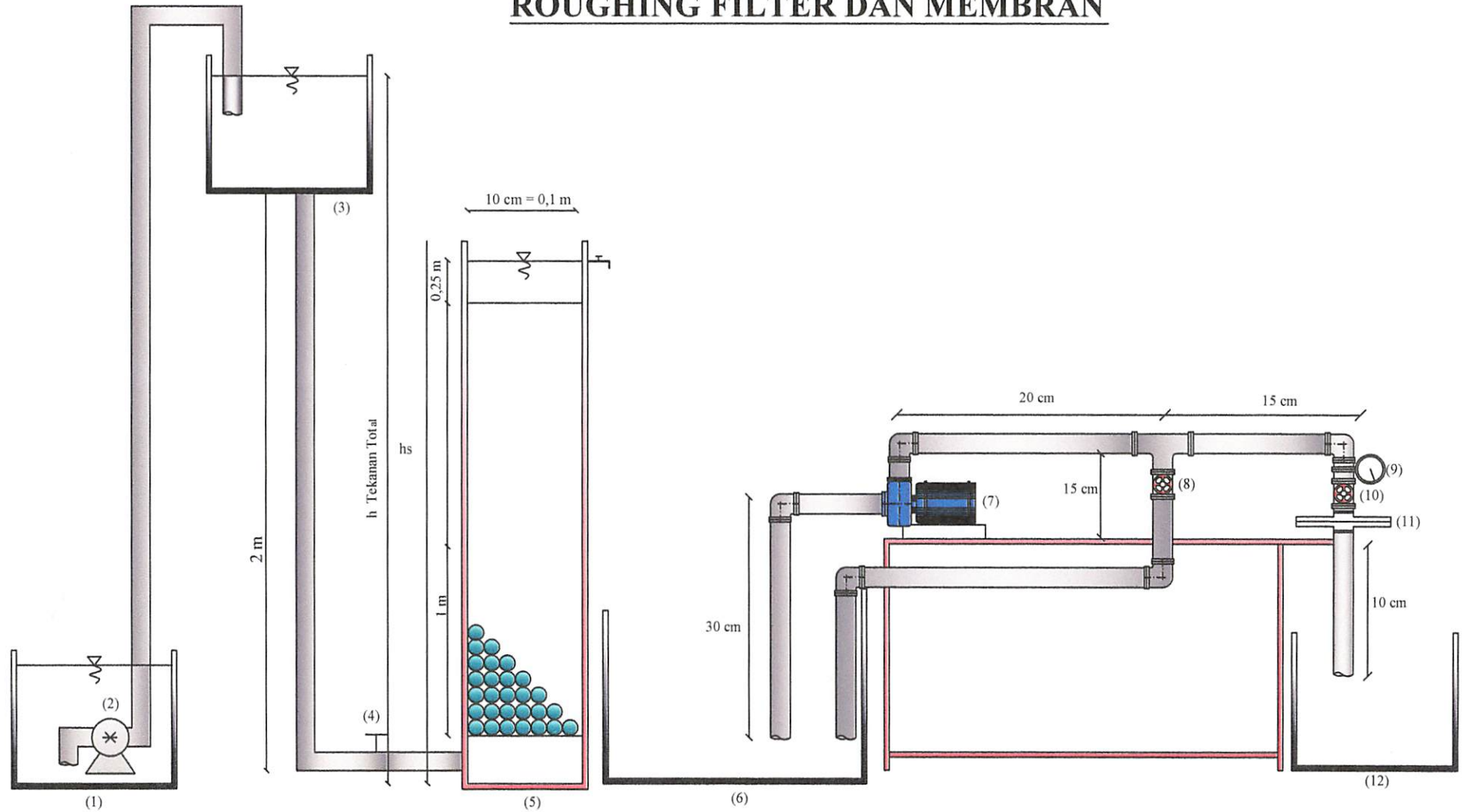
- Alaerts G, Santika Sumestri Sri. 1987. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Arfiantinosa. Nassa, Dwirianti. Dewi. 2004. *Studi Efektifitas Pengolahan Pendahuluan Pada Membran Ultrafiltrasi*. Laporan Tugas Akhir. Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- Ariyanti Yuni, 2004. *Uji Efektifitas Batu Cadas – Batu Kapur Dalam Menurunkan Kekeruhan Dan Kesadahan Air Tanah*. Skripsi Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang, Malang.
- A.P.Septin, I. Nur. 2006. *Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*. Yogyakarta: Andi.
- C.S.Vina. 2004. *Penurunan Warna Reaktif Dengan Pengolahan Kombinasi PAC dan Membran Mikrofiltrasi*. Laporan Tugas Akhir. Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- Fair, G. Maskew, John Charles Geyer And Daniel Alexander Okun, 1968. *Water And Wastewater Engginering, Volume 2: Water Purification And Wastewater Treatment And Disposal*. John Wiley & Sons, Inc.
- Geankoplis J. Cristie. 1997. *Transport Processes and Unit Operation*. Third Edition. New Delhi: Prentice-Hall of India Private Limited.
- Iriawan, N dan Astuti, S.P (2006). *Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*. Andi. Yogyakarta.
- Jayalath, J.M.J.C and Padmasiri, J.P. 1996. Gravity Roughing Filter For Pre-treatment. <http://www.epa.gov/owmitnct/mtbfact.htm>. Diakses tanggal 27 November 2005.
- Masduki Ali, Slamet Agus. 2002. *Satuan Operasi Untuk Pengolahan Air*. Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- Mulder, M. 1996. *Basic Principle of Membrane Teknology*. 2<sup>nd</sup> edition. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- Munir, Mochammad, 2003. *Geologi lingkungan*. Bayumedia Publishing, Malang.

- Nasrul. 2002. *Uji Kemampuan Membran Sellulosa Asetat sebagai Media Filter terhadap Penyisihan kekeruhan dan Escherichia Coli pada Proses Pemurnian Air*. Thesis Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- Prasetyo, Budi. 2002. *Rekayasa Pembuatan Membran Sellulosa Asetat Untuk Pemisahan Larutan Deterjen*. Tesis Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- Prilia, I. 2001. *Studi Teknologi Aplikasi Teknologi Membran*. Laporan Tugas Akhir. Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- Santoso, Gangsar. 2001. Studi Material Polimer Poli (2,6 – Dimetil – 1,4 – Fenilena Oksida) Tersulfonasi (PPO-SO<sub>3</sub>H) Untuk Membran Osmosa Balik(online).<http://matsc.fisika.ui.ac.id/abstrak/abstrak/gangsarsantoso.htm>. Diakses tanggal 10 agustus 2006.
- Scott. 1995. *Handbook of Industrial Membranes. 1<sup>st</sup> edition*. Elsevier Advanced Technology.
- Sutrisno. C Totok, Suciastuti Eni. 1991. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Suantari, Ni Made. 2005. *Uji Kemampuan Roughing Filter Aliran Horizontal Terhadap Penurunan Kadar Sulfur (S), Besi (Fe), dan Kekeruhan Pada Air Panas*. Skripsi Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang. Malang.
- Suriawira, Unus. 1996. *Mikrobiologi Air Dan Dasar-Dasar Pengolahan Buangan Secara Biologis*. Bandung: Alumni.
- Solch, A.Z (2005). *Ilmu Statistika*. Rekayasa Sains. Bandung.
- Sosrodarsono, Suyono, Masateru Tominaga dan M.Yusuf Gayo,1885. *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*. Pradnya Paramita, Jakarta Pusat.
- Ujang Zaini. 2004. *Workshop on Membrane Technology For Water and Wastewater Treatment*. Makalah disajikan dalam Pelatihan Pengenalan dan Aplikasi Membran di Surabaya, ITS, Surabaya, 12-13 April 2004.
- Wenten, I. G. 2003. Aplikasi Teknologi Membran Dalam Pengolahan Air dan Air Duangan. M. Razif, dkk (Eds.), *Perkembangan dan Aplikasi Teknologi Lingkungan Dalam Menghadapi Era Global* (hlm. U.5-1 – U.5-16). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

# LAMPIRAN 1

## DESAIN ALAT

## DESAIN ALAT ROUGHING FILTER DAN MEMBRAN



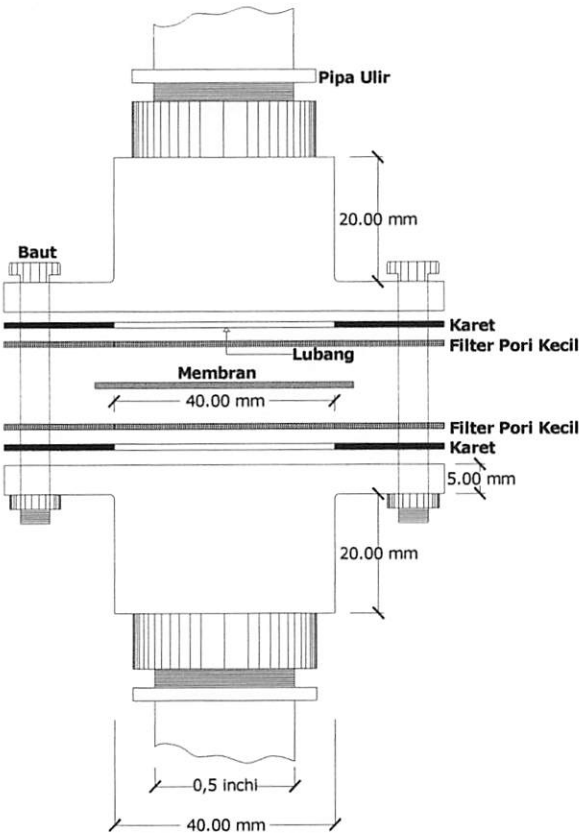
KETERANGAN :

1. Bak Penampung air
2. Pompa
3. Bak Pengatur Debit
4. Valve
5. Roughing Filter dengan aliran vertikal (upflow)
6. Bak Umpan (Feed)

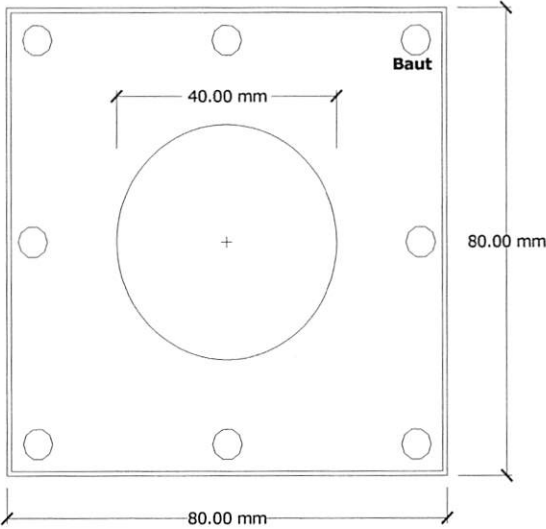
7. Pompa
8. Valve
9. Preassure Gauge
10. Valve
11. Membran
12. Bak Effluent

Gambar 3.2. Desain Alat Roughing Filter dan Membran

DESAIN TEMPAT MEMBRAN



TAMPAK SAMPING



TAMPAK ATAS

**LAMPIRAN 2**

**CARA KERJA ANALISA**

**PARAMETER UJI**

## **A. Pemeriksaan Kekeruhan**

### **1. Metode**

Nephelometri

### **2. Prinsip**

Membandingkan intensitas cahaya yang melalui sampel dengan intensitas cahaya yang melalui suspensi baku pembanding dalam kondisi yang sama. Makin tinggi intensitas cahaya yang melaluinya maka makin tinggi kekeruhannya.

### **3. Pembuatan Reagen Kimia Penunjang Analisa kekeruhan**

Stock Standar Formazin terdiri dari larutan I dan larutan II.

Cara pembuatannya :

#### **3.1 Larutan I**

Larutkan 1 gram Hidrazin Sulfat  $(\text{NH}_2)_2\text{H}_2\text{SO}_4$  di dalam air suling dan encerkan menjadi 100 ml dalam labu ukur

#### **3.2 Larutan II**

Larutkan 10 gram Heksa Methylenetetramine  $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$  didalam air suling dan encerkan menjadi 100 ml dalam labu ukur.

3.3 Campurkan 5 ml larutan I dan 5 ml larutan II dalam labu ukur 100 ml, kemudian encerkan dengan air suling sampai tanda, biarkan 24 jam dalam temperature  $25 \pm 3$  °C. Kekeruhan dari suspensi ini adalah 40-NTU larutan ini tahan sampai 1 tahun jika disimpan dalam ruang dingin.

3.4 Encerkan larutan stok ini dengan air suling setiap akan digunakan.

### **4. Pelaksanaan Pengujian**

1. Disiapkan alat turbidimetri sesuai dengan petunjuk dan diikuti petunjuk pengoperasian alat
2. Kocok sampel air sampai homogen kemudian masukkan sampel air ke dalam cell turbidimeter dengan batas sampai pada leher cell, kemudian tutup dan baca pada turbidimeter, pastikan garis pada cell kekeruhan tepat pada garis dengan marker (.) disetiap pembacaan.
3. Catat hasil pembacaan pada turbidimeter dalam satuan NTU

## **B. Pemeriksaan Nitrat ( $\text{NO}_3$ )**

### **1. Metoda**

### **2. Prinsip**

Ion nitrat direaksikan dengan brussin dalam larutan asam sulfat akan membentuk warna kuning dan belerang. Warna kuning yang terbentuk diukur serapannya secara spektrofotometri pada panjang gelombang 410 nm.

### **3. Cara kerja**

#### **A. Pembuatan kurva kalibrasi**

- a. Pipet 0,05-2,5 ml larutan baku nitrat kedalam beberapa labu ukur 25 ml.
- b. Encerkan dengan air sampai volume 5 ml
- c. Pada labu ukur lainnya masukkan 5 ml air suling.
- d. Lanjutkan langkah c.
- e. Persiapkan sampel.
- f. Jika sampel mengandung klor ( $\text{Cl}_2$ ) tambahkan 0,1 ml larutan natrium arsenit kedalam 50 ml bagian sampel yang mengandung tiap 0,005 mg/l klorin, tambahkan 1 tetes berlebih dan kocok.
- g. Jika airnya keruh atau kandungan zat organik tinggi (berwarna) dapat dihilangkan dengan menambahkan 0,5 gr karbon aktif dan 3 ml larutan suspensi aluminium hidrksida kedalam 150 ml sampel, kocok dengan baik dan diamkan beberapa menit lalu saring.
- h. Ke dalam labu ukur 50 ml pipet 5 ml filtrate yang diatas yang mengandung tidak lebih dari 50 mg/l  $\text{NO}_3$ .

#### **B. Penetapan sample**

- a. Terhadap sampel, baku dan blanko tambahkan 1 ml larutan brussin asam sulfanilat dan tambahkan masing-masing 10 ml larutan asam sulfat.

- b. Aduk, diamkan tempat gelap selama 10 menit dan segera ukur warna yang terbentuk.
- c. Hitung kadar ion nitrat dengan menggunakan kurva kalibrasi dalam mg/l.

#### **4. Pengukuran**

- a. Secara spektrofotometer.
- b. Digunakan spektrofotometer yang bekerja pada panjang gelombang 410 nm.
- c. Atur spektrofotometer pada serapan 0 atau 100% transmittan terhadap blanko sebagai pembanding.
- d. Tetapkan harga serapan sampel dan masing-masing baku pada panjang gelombang 410 nm.

#### **5. Perhitungan**

Cara I : aturlah kalibrasi baku antara serapan dan kadar ion nitrat dengan menggunakan kurva kalibrasi dalam mg/l.

$$\text{Cara II : kadar NO}_3 \text{ mg/l} = \frac{\text{Serapan sampel}}{\text{Serapan baku}} \times \text{Kadar baku}$$

### ***C. Perhitungan E.Coli***

#### **1. Metoda**

MPN (Most Probable Number)

#### **2. Prinsip**

Tes mikrobiologi adalah tes untuk mendeteksi adanya sejenis bakteri dan sekaligus menaksir konsentrasinya. Metoda yang digunakan dengan metoda tabung fermentasi (MPN). Prinsip tes pertama dan ketiga adalah sifat bakteri yang berkembang biak dalam waktu 24 sampai 72 jam pada suhu tertentu (dalam incubator) dan dalam suasana yang cocok yaitu pada sebuah media yang terdiri dari agar-agar (bahan yang netral) yang mengandung beberapa jenis zat kimia yang merupakan gizi bagi jenis bakteri tertentu serta dapat mengatur nilai pH.

Prinsip tes kedua adalah sama dengan prinsip tes pertama, hanya bakteri tidak berkembang atas media (agar-agar) namun tersuspensi dalam kaldu (broth media) yang mengandung gizi bagi pertumbuhannya. Bakteri-bakteri tersebut dapat dideteksi karena jenis tersebut dapat meragikan (fermentasi) salah satu unsur zat gizi seperti laktosa yang akibat proses tersebut terbentuklah gas; gelembung-gelembung gas ini menunjukkan adanya bakteri tersebut.

#### **3. Media**

##### **3.1 Kaldu Nutrisi**

- Timbang NaCl sebanyak 5 gram
- Timbag daging sebanyak 30 gram, lalu tumbuk hingga halus.
- Campur NaCl dengan daging kemudian larutkan dalam aquadest sebanyak 600 ml dalam beakerglass.
- Panaskan sampai mendidih kemudian saring.
- Turunkan suhunya sampai 50 °C.
- Atur pH media sampai 7.
- Tutup beakerglass dengan plastic kemudian sterilkan kedalam *autoklaf* selama 20 menit pada suhu 121 °C.

- Setelah disterilkan tunggu sampai media agak dingin kemudian disimpan dalam lemari es.

### 3.2 KFL ( Kaldu Fermentasi laktosa)

- Timbang laktosa sebanyak 5 gram.
- Timbang daging sebanyak 30 gram, lalu tumbuk hingga halus.
- Campur laktosa dan daging kemudian larutkan dalam aquadest sebanyak 600 ml dalam beakerglass.
- Panaskan sampai mendidih kemudian saring.
- Tambahkan BTB sebanyak satu tetes dan menghomogenkannya.
- Turunkan suhunya sampai 50 °C.
- Atur pH media sampai 7.
- Tutup beakerglass dengan plastik kemudian sterilkan ke dalam *autoklaf* selama 20 menit pada suhu 121°C.
- Setelah disterilkan tunggu media sampai agak dingin kemudian simpan didalam lemari es.

## 4. Cara Kerja

### 4.1 Tahap Percobaan

- Mengambil sample 1 ml air sungai dalam tabung reaksi dan menambahkan 99 ml kaldu nutrisi steril, disebut pengenceran  $10^{-2}$ .
- Dari pengenceran  $10^{-2}$  diambil 1 ml dan ditambahkan 9 ml kaldu nutrisi steril disebut pengenceran  $10^{-3}$  dan membuat hingga pengenceran  $10^{-7}$ .

### 4.2 Mctoda MPN

- Menyediakan 9 tabung reaksi.
- Seri A untuk 3 tabung reaksi yang pertama. Seri B untuk 3 tabung reaksi yang kedua. Seri C untuk 3 tabung terakhir.
- Isi tabung pada seri A dengan 1 ml air sampel dari pengenceran  $10^{-5}$ . tabung dari seri B dari pengenceran  $10^{-6}$  dan tabung seri C dari pengenceran  $10^{-7}$ .
- Masukkan tabung durham pada semua tabung reaksi, dengan posisi mulut tabung dibawah.
- Tambahkan 9 ml KFL pada semua tabung reaksi.

- Tutup tabung raksi dengan kapas atau tissue. Simpan dalam incubator pada suhu 37 °C selama 24-48 jam.

## 5. Perhitungan

$$\text{Jumlah koloni per ml} = \text{nilaiMPN} \times \frac{1}{\text{pengenceran tabung tengah}}$$

Tabel. Angka MPN untuk 9 seri tabung

| Jumlah Tabung |        | MPN    |       |
|---------------|--------|--------|-------|
| Seri A        | Seri B | Seri C | M-PN  |
| (1)           | (2)    | (3)    | (4)   |
| 0             | 0      | 0      | 0,03  |
| 0             | 0      | 1      | 0,03  |
| 0             | 0      | 2      | 0,06  |
| 0             | 0      | 3      | 0,09  |
| 0             | 1      | 0      | 0,03  |
| 0             | 1      | 1      | 0,61  |
| 0             | 1      | 2      | 0,092 |
| 0             | 1      | 3      | 0,12  |
| 0             | 2      | 0      | 0,62  |
| 0             | 2      | 1      | 0,93  |
| 0             | 2      | 2      | 0,12  |
| 0             | 2      | 3      | 0,16  |
| 0             | 3      | 0      | 0,094 |
| 0             | 3      | 1      | 0,13  |
| 0             | 3      | 2      | 0,16  |
| 0             | 3      | 3      | 0,19  |
| 1             | 0      | 0      | 0,036 |
| 1             | 0      | 1      | 0,072 |
| 1             | 0      | 2      | 0,11  |
| 1             | 0      | 3      | 0,15  |
| 1             | 1      | 0      | 0,073 |
| 1             | 1      | 1      | 0,11  |
| 1             | 1      | 2      | 0,15  |
| 1             | 1      | 3      | 0,19  |
| 1             | 2      | 0      | 0,11  |
| 1             | 2      | 1      | 0,15  |
| 1             | 2      | 2      | 0,20  |
| 1             | 2      | 3      | 0,24  |
| 1             | 3      | 0      | 0,16  |
| 1             | 3      | 1      | 0,20  |
| 1             | 3      | 2      | 0,24  |
| 1             | 3      | 3      | 0,29  |
| 2             | 0      | 0      | 0,091 |
| 2             | 0      | 1      | 0,14  |
| 2             | 0      | 2      | 0,20  |
| 2             | 0      | 3      | 0,26  |
| 2             | 1      | 0      | 0,15  |
| 2             | 1      | 1      | 0,20  |
| 2             | 1      | 2      | 0,27  |
| 2             | 1      | 3      | 0,34  |
| 2             | 2      | 0      | 0,21  |
| 2             | 2      | 1      | 0,28  |
| 2             | 2      | 2      | 0,35  |
| 2             | 2      | 3      | 0,42  |
| 2             | 3      | 0      | 0,29  |

|   |   |   |       |
|---|---|---|-------|
| 2 | 3 | 1 | 0,36  |
| 2 | 3 | 2 | 0,44  |
| 2 | 3 | 3 | 0,53  |
| 3 | 0 | 0 | 0,23  |
| 3 | 0 | 1 | 0,39  |
| 3 | 0 | 2 | 0,64  |
| 3 | 0 | 3 | 0,95  |
| 3 | 1 | 0 | 0,43  |
| 3 | 1 | 1 | 0,75  |
| 3 | 1 | 2 | 0,20  |
| 3 | 1 | 3 | 0,60  |
| 3 | 2 | 0 | 0,93  |
| 3 | 2 | 1 | 1,50  |
| 3 | 2 | 2 | 2,10  |
| 3 | 2 | 3 | 2,90  |
| 3 | 3 | 0 | 2,40  |
| 3 | 3 | 1 | 4,60  |
| 3 | 3 | 2 | 11,00 |
| 3 | 3 | 3 | 24,00 |

(Sumber: K.A. Buckie, R.R. Edwards, G.H. Fleet, M. Wooton. Ilmu Pangan. Tahun 1987)

**LAMPIRAN 3**

**DATA HASIL ANALISA**

**PARAMETER UJI**

**WORKSHEET PENGUKURAN VOLUME, pH DAN SUHU**  
**PENGOPERASIAN MEMBRAN (MF) PADA TEKANAN 0,5 BAR, TEBAL 1 LEMBAR  $\phi$  0,2  $\mu\text{m}$**

| NO | KODE SAMPEL  | VOLUME<br>FEED/PERMEATE<br>(ml) | PENGUKURAN                  |          |      |          |
|----|--------------|---------------------------------|-----------------------------|----------|------|----------|
|    |              |                                 | SUHU ( $^{\circ}\text{C}$ ) |          | pH   |          |
|    |              |                                 | Feed                        | Permeate | Feed | Permeate |
| 1  | Awal         |                                 | 23                          |          | 6,32 |          |
| 2  | Pretreatment | 5000                            | 23                          |          | 6,59 |          |
| 3  | 0,5.1.10     | 639                             | 29                          | 24       | 6,59 | 6,58     |
| 4  | 0,5.1.20     | 267                             | 31                          | 25       | 6,92 | 6,33     |
| 5  | 0,5.1.30     | 195                             | 35                          | 26       | 6,55 | 6,21     |
| 6  | 0,5.1.40     | 148                             | 40                          | 27       | 6,18 | 6,15     |
| 7  | 0,5.1.50     | 130                             | 44                          | 27       | 6,46 | 6,63     |
| 8  | 0,5.1.60     | 116                             | 47                          | 28       | 6,36 | 6,29     |

**WORKSHEET PENGUKURAN VOLUME, pH DAN SUHU**  
**PENGOPERASIAN MEMBRAN (MF) PADA TEKANAN 1 BAR, TEBAL 1 LEMBAR  $\phi$  0,2  $\mu\text{m}$**

| NO | KODE SAMPEL  | VOLUME<br>FEED/PERMEATE<br>(ml) | PENGUKURAN                  |          |      |          |
|----|--------------|---------------------------------|-----------------------------|----------|------|----------|
|    |              |                                 | SUHU ( $^{\circ}\text{C}$ ) |          | pH   |          |
|    |              |                                 | Feed                        | Permeate | Feed | Permeate |
| 1  | Awal         |                                 | 22                          |          | 6,81 |          |
| 2  | Pretreatment | 5000                            | 24                          |          | 6,74 |          |
| 3  | 1.1.10       | 851                             | 24                          | 25       | 6,74 | 6,41     |
| 4  | 1.1.20       | 288                             | 31                          | 27       | 6,27 | 6,70     |
| 5  | 1.1.30       | 208                             | 37                          | 29       | 6,38 | 6,16     |
| 6  | 1.1.40       | 155                             | 43                          | 30       | 6,57 | 6,12     |
| 7  | 1.1.50       | 136                             | 47                          | 31       | 6,40 | 6,30     |
| 8  | 1.1.60       | 120                             | 50                          | 31,5     | 6,49 | 3,47     |

**WORKSHEET PENGUKURAN VOLUME, pH DAN SUHU**  
**PENGOPERASIAN MEMBRAN (MF) PADA TEKANAN 2 BAR, TEBAL 1 LEMBAR  $\phi$  0,2  $\mu\text{m}$**

| NO | KODE SAMPEL  | VOLUME<br>FEED/PERMEATE<br>(ml) | PENGUKURAN                  |          |      |          |
|----|--------------|---------------------------------|-----------------------------|----------|------|----------|
|    |              |                                 | SUHU ( $^{\circ}\text{C}$ ) |          | pH   |          |
|    |              |                                 | Feed                        | Permeate | Feed | Permeate |
| 1  | Awal         |                                 | 23                          |          | 6,49 |          |
| 2  | Pretreatment | 5000                            | 23                          |          | 6,41 |          |
| 3  | 2.1.10       | 1060                            | 23                          | 25       | 6,41 | 6,452    |
| 4  | 2.1.20       | 381                             | 31                          | 25,5     | 6,50 | 6,04     |
| 5  | 2.1.30       | 275                             | 37                          | 26,5     | 6,39 | 6,09     |
| 6  | 2.1.40       | 219                             | 42                          | 26,5     | 6,35 | 6,19     |
| 7  | 2.1.50       | 184                             | 45                          | 27       | 6,85 | 6,09     |
| 8  | 2.1.60       | 166                             | 49                          | 27       | 6,61 | 6,16     |

**WORKSHEET PENGUKURAN VOLUME, pH DAN SUHU**  
**PENGOPERASIAN MEMBRAN (MF) PADA TEKANAN 3 BAR, TEBAL 1 LEMBAR  $\phi$  0,2  $\mu\text{m}$**

| NO | KODE SAMPEL  | VOLUME<br>FEED/PERMEATE<br>(ml) | PENGUKURAN                  |          |      |          |
|----|--------------|---------------------------------|-----------------------------|----------|------|----------|
|    |              |                                 | SUHU ( $^{\circ}\text{C}$ ) |          | pH   |          |
|    |              |                                 | Feed                        | Permeate | Feed | Permeate |
| 1  | Awal         |                                 | 23                          |          | 6,44 |          |
| 2  | Pretreatment | 5000                            | 23                          |          | 6,38 |          |
| 3  | 3.1.10       | 1174                            | 23                          | 26       | 6,38 | 6,47     |
| 4  | 3.1.20       | 484                             | 32                          | 27       | 6,15 | 6,45     |
| 5  | 3.1.30       | 367                             | 38                          | 27,5     | 6,73 | 6,04     |
| 6  | 3.1.40       | 289                             | 44                          | 28       | 6,21 | 6,51     |
| 7  | 3.1.50       | 244                             | 48                          | 28       | 6,37 | 6,10     |
| 8  | 3.1.60       | 216                             | 52                          | 28,5     | 6,52 | 6,18     |

**WORKSHEET PENGUKURAN VOLUME, pH DAN SUHU**  
**PENGOPERASIAN MEMBRAN (MF) PADA TEKANAN 0,5 BAR, TEBAL 3 LEMBAR  $\phi$  0,2  $\mu\text{m}$**

| NO | KODE SAMPEL  | VOLUME<br>FEED/PERMEATE<br>(ml) | PENGUKURAN                  |          |      |          |
|----|--------------|---------------------------------|-----------------------------|----------|------|----------|
|    |              |                                 | SUHU ( $^{\circ}\text{C}$ ) |          | pH   |          |
|    |              |                                 | Feed                        | Permeate | Feed | Permeate |
| 1  | Awal         |                                 | 23                          |          | 6,16 |          |
| 2  | Pretreatment | 5000                            | 23                          |          | 6,43 |          |
| 3  | 0,5.3.10     | 400                             | 23                          | 25,5     | 6,43 | 6,16     |
| 4  | 0,5.3.20     | 179                             | 31                          | 25,5     | 6,54 | 6,08     |
| 5  | 0,5.3.30     | 127                             | 36                          | 26       | 6,31 | 6,08     |
| 6  | 0,5.3.40     | 100                             | 41                          | 26       | 6,68 | 6,42     |
| 7  | 0,5.3.50     | 87                              | 44                          | 26,5     | 6,31 | 6,29     |
| 8  | 0,5.3.60     | 80                              | 48                          | 26,5     | 6,21 | 6,50     |

**WORKSHEET PENGUKURAN VOLUME, pH DAN SUHU**  
**PENGOPERASIAN MEMBRAN (MF) PADA TEKANAN 1 BAR, TEBAL 3 LEMBAR  $\phi$  0,2  $\mu\text{m}$**

| NO | KODE SAMPEL  | VOLUME<br>FEED/PERMEATE<br>(ml) | PENGUKURAN                  |          |      |          |
|----|--------------|---------------------------------|-----------------------------|----------|------|----------|
|    |              |                                 | SUHU ( $^{\circ}\text{C}$ ) |          | pH   |          |
|    |              |                                 | Feed                        | Permeate | Feed | Permeate |
| 1  | Awal         |                                 | 23                          |          | 6,37 |          |
| 2  | Pretreatment | 5000                            | 23                          |          | 6,31 |          |
| 3  | 1.3.10       | 511                             | 25                          | 24       | 6,31 | 6,24     |
| 4  | 1.3.20       | 194                             | 31                          | 25       | 6,67 | 6,52     |
| 5  | 1.3.30       | 131                             | 36                          | 25,5     | 6,45 | 6,03     |
| 6  | 1.3.40       | 112                             | 41                          | 26       | 6,07 | 6,27     |
| 7  | 1.3.50       | 100                             | 44                          | 26       | 6,44 | 6,27     |
| 8  | 1.3.60       | 87                              | 48                          | 26       | 6,75 | 6,64     |

**WORKSHEET PENGUKURAN VOLUME, pH DAN SUHU**  
**PENGOPERASIAN MEMBRAN (MF) PADA TEKANAN 2 BAR, TEBAL 1 LEMBAR  $\phi$  0,2  $\mu\text{m}$**

| NO | KODE SAMPEL  | VOLUME<br>FEED/PERMEATE<br>(ml) | PENGUKURAN                  |          |      |          |
|----|--------------|---------------------------------|-----------------------------|----------|------|----------|
|    |              |                                 | SUHU ( $^{\circ}\text{C}$ ) |          | pH   |          |
|    |              |                                 | Feed                        | Permeate | Feed | Permeate |
| 1  | Awal         |                                 | 23                          |          | 6,84 |          |
| 2  | Pretreatment | 5000                            | 23                          |          | 6,61 |          |
| 3  | 2.3.10       | 611                             | 23                          | 24,5     | 6,61 | 6,49     |
| 4  | 2.3.20       | 242                             | 31                          | 24,5     | 6,56 | 6,29     |
| 5  | 2.3.30       | 172                             | 37                          | 25       | 6,53 | 6,42     |
| 6  | 2.3.40       | 133                             | 42                          | 26       | 6,56 | 6,20     |
| 7  | 2.3.50       | 106                             | 46                          | 26       | 6,20 | 6,88     |
| 8  | 2.3.60       | 97                              | 49                          | 26       | 6,97 | 6,27     |

**WORKSHEET PENGUKURAN VOLUME, pH DAN SUHU**  
**PENGOPERASIAN MEMBRAN (MF) PADA TEKANAN 3 BAR, TEBAL 3 LEMBAR  $\phi$  0,2  $\mu\text{m}$**

| NO | KODE SAMPEL  | VOLUME<br>FEED/PERMEATE<br>(ml) | PENGUKURAN                  |          |      |          |
|----|--------------|---------------------------------|-----------------------------|----------|------|----------|
|    |              |                                 | SUHU ( $^{\circ}\text{C}$ ) |          | pH   |          |
|    |              |                                 | Feed                        | Permeate | Feed | Permeate |
| 1  | Awal         |                                 | 23                          |          | 6,69 |          |
| 2  | Pretreatment | 5000                            | 23                          |          | 6,56 |          |
| 3  | 3.3.10       | 667                             | 23                          | 25       | 6,56 | 6,47     |
| 4  | 3.3.20       | 298                             | 32                          | 25,5     | 6,55 | 6,21     |
| 5  | 3.3.30       | 221                             | 37                          | 26,5     | 6,11 | 6,56     |
| 6  | 3.3.40       | 159                             | 42                          | 27,5     | 6,75 | 6,44     |
| 7  | 3.3.50       | 129                             | 47                          | 29       | 6,61 | 6,28     |
| 8  | 3.3.60       | 114                             | 51                          | 30       | 6,36 | 6,16     |

| No | Tekanan            | Waktu Kerja | Volume |        |        |           |           |           | Luas Membran    |                | Waktu |         | Fluks (ml/cm <sup>2</sup> . menit) |       |       | Fluks (L/m <sup>2</sup> . jam) |         |         | Rata-rata |
|----|--------------------|-------------|--------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------------|----------------|-------|---------|------------------------------------|-------|-------|--------------------------------|---------|---------|-----------|
|    |                    |             | ml (1) | ml (2) | ml (3) | liter (1) | liter (2) | liter (3) | cm <sup>2</sup> | m <sup>2</sup> | menit | jam     | (1)                                | (2)   | (3)   | (1)                            | (2)     | (3)     |           |
| 1  | 0.5<br>Ketabalan 1 | 10          | 637    | 641    | 640    | 0.637     | 0.641     | 0.640     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 9.02                               | 9.07  | 9.06  | 5408.77                        | 5443.74 | 5435.24 | 5429.58   |
| 2  |                    | 20          | 265    | 267    | 270    | 0.265     | 0.267     | 0.270     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 3.75                               | 3.78  | 3.82  | 2250.53                        | 2287.52 | 2292.89 | 2270.35   |
| 3  |                    | 30          | 194    | 199    | 183    | 0.194     | 0.199     | 0.183     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 2.75                               | 2.82  | 2.73  | 1647.56                        | 1690.02 | 1699.07 | 1658.88   |
| 4  |                    | 40          | 149    | 147    | 147    | 0.149     | 0.147     | 0.147     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 2.11                               | 2.08  | 2.08  | 1265.39                        | 1248.41 | 1248.41 | 1254.07   |
| 5  |                    | 50          | 131    | 129    | 131    | 0.131     | 0.129     | 0.131     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 1.85                               | 1.83  | 1.85  | 1112.53                        | 1095.54 | 1112.53 | 1108.88   |
| 6  |                    | 60          | 118    | 114    | 116    | 0.118     | 0.114     | 0.116     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 1.67                               | 1.61  | 1.64  | 1002.12                        | 968.15  | 985.14  | 985.14    |
| 1  | 1<br>Ketabalan 1   | 10          | 849    | 852    | 851    | 0.849     | 0.852     | 0.851     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 12.02                              | 12.06 | 12.05 | 7210.19                        | 7235.67 | 7227.18 | 7224.35   |
| 2  |                    | 20          | 289    | 287    | 287    | 0.289     | 0.287     | 0.287     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 4.09                               | 4.08  | 4.06  | 2454.35                        | 2437.37 | 2437.37 | 2443.03   |
| 3  |                    | 30          | 210    | 206    | 209    | 0.210     | 0.206     | 0.209     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 2.97                               | 2.92  | 2.96  | 1783.44                        | 1749.47 | 1774.95 | 1769.29   |
| 4  |                    | 40          | 153    | 157    | 154    | 0.153     | 0.157     | 0.154     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 2.17                               | 2.22  | 2.18  | 1299.38                        | 1333.33 | 1307.86 | 1313.52   |
| 5  |                    | 50          | 136    | 138    | 137    | 0.136     | 0.138     | 0.137     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 1.92                               | 1.92  | 1.94  | 1154.89                        | 1154.99 | 1163.48 | 1157.82   |
| 6  |                    | 60          | 120    | 121    | 119    | 0.120     | 0.121     | 0.119     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 1.70                               | 1.71  | 1.68  | 1018.11                        | 1019.11 | 1010.82 | 1018.11   |
| 1  | 2<br>Ketabalan 1   | 10          | 1060   | 1059   | 1060   | 1.060     | 1.059     | 1.060     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 15.00                              | 14.99 | 15.00 | 9002.12                        | 8993.63 | 9002.12 | 8999.28   |
| 2  |                    | 20          | 382    | 381    | 381    | 0.382     | 0.381     | 0.381     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 5.41                               | 5.39  | 5.39  | 3244.16                        | 3235.67 | 3235.67 | 3238.50   |
| 3  |                    | 30          | 275    | 273    | 276    | 0.275     | 0.273     | 0.276     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 3.89                               | 3.86  | 3.91  | 2335.46                        | 2318.47 | 2343.95 | 2332.63   |
| 4  |                    | 40          | 220    | 219    | 217    | 0.220     | 0.219     | 0.217     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 3.11                               | 3.10  | 3.07  | 1888.37                        | 1859.87 | 1842.89 | 1857.04   |
| 5  |                    | 50          | 184    | 185    | 182    | 0.184     | 0.185     | 0.182     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 2.60                               | 2.62  | 2.58  | 1562.63                        | 1571.13 | 1545.65 | 1559.80   |
| 6  |                    | 60          | 166    | 167    | 168    | 0.166     | 0.167     | 0.168     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 2.35                               | 2.36  | 2.35  | 1409.77                        | 1418.28 | 1409.77 | 1412.60   |
| 1  | 3<br>Ketabalan 1   | 10          | 1175   | 1175   | 1173   | 1.175     | 1.175     | 1.173     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 16.63                              | 16.63 | 16.60 | 9878.77                        | 9878.77 | 9861.78 | 9873.11   |
| 2  |                    | 20          | 484    | 485    | 484    | 0.484     | 0.485     | 0.484     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 8.85                               | 8.86  | 8.85  | 4110.40                        | 4118.90 | 4110.40 | 4113.23   |
| 3  |                    | 30          | 369    | 367    | 364    | 0.369     | 0.367     | 0.364     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 5.22                               | 5.19  | 5.15  | 3153.76                        | 3116.77 | 3091.30 | 3113.94   |
| 4  |                    | 40          | 287    | 289    | 290    | 0.287     | 0.289     | 0.290     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 4.08                               | 4.09  | 4.10  | 2437.37                        | 2454.35 | 2482.85 | 2451.52   |
| 5  |                    | 50          | 245    | 242    | 245    | 0.245     | 0.242     | 0.245     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 3.47                               | 3.43  | 3.47  | 2080.68                        | 2055.20 | 2080.68 | 2072.19   |
| 6  |                    | 60          | 215    | 216    | 216    | 0.215     | 0.216     | 0.216     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 3.04                               | 3.06  | 3.06  | 1825.90                        | 1834.39 | 1834.39 | 1831.58   |
| 1  | 0.5<br>Ketabalan 3 | 10          | 389    | 400    | 402    | 0.389     | 0.400     | 0.402     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 5.85                               | 5.86  | 5.89  | 3388.54                        | 3397.03 | 3414.01 | 3399.68   |
| 2  |                    | 20          | 178    | 178    | 180    | 0.178     | 0.178     | 0.180     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 2.52                               | 2.52  | 2.55  | 1511.68                        | 1511.68 | 1528.66 | 1517.34   |
| 3  |                    | 30          | 128    | 127    | 125    | 0.128     | 0.127     | 0.125     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 1.81                               | 1.80  | 1.77  | 1087.05                        | 1078.56 | 1061.57 | 1075.73   |
| 4  |                    | 40          | 102    | 100    | 98     | 0.102     | 0.100     | 0.099     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 1.44                               | 1.42  | 1.40  | 868.24                         | 846.26  | 840.76  | 852.09    |
| 5  |                    | 50          | 89     | 88     | 87     | 0.089     | 0.088     | 0.087     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 1.26                               | 1.22  | 1.23  | 755.84                         | 730.36  | 738.85  | 741.68    |
| 6  |                    | 60          | 81     | 78     | 80     | 0.081     | 0.078     | 0.080     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 1.15                               | 1.10  | 1.13  | 687.90                         | 682.42  | 679.41  | 676.57    |
| 1  | 1<br>Ketabalan 3   | 10          | 509    | 512    | 511    | 0.509     | 0.512     | 0.511     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 7.20                               | 7.25  | 7.23  | 4322.72                        | 4348.20 | 4339.70 | 4336.87   |
| 2  |                    | 20          | 194    | 195    | 194    | 0.194     | 0.195     | 0.194     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 2.75                               | 2.76  | 2.75  | 1647.56                        | 1656.05 | 1647.56 | 1650.39   |
| 3  |                    | 30          | 130    | 131    | 131    | 0.130     | 0.131     | 0.131     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 1.84                               | 1.85  | 1.85  | 1104.03                        | 1112.53 | 1112.53 | 1109.70   |
| 4  |                    | 40          | 112    | 113    | 112    | 0.112     | 0.113     | 0.112     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 1.59                               | 1.60  | 1.59  | 951.17                         | 959.66  | 951.17  | 954.00    |
| 5  |                    | 50          | 101    | 99     | 100    | 0.101     | 0.099     | 0.100     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 1.43                               | 1.40  | 1.42  | 857.75                         | 840.78  | 848.28  | 849.28    |
| 6  |                    | 60          | 86     | 88     | 87     | 0.086     | 0.088     | 0.087     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 1.22                               | 1.25  | 1.23  | 730.36                         | 747.35  | 738.85  | 738.85    |
| 1  | 2<br>Ketabalan 3   | 10          | 610    | 612    | 610    | 0.610     | 0.612     | 0.610     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 8.83                               | 8.86  | 8.83  | 5180.47                        | 5197.45 | 5180.47 | 5188.13   |
| 2  |                    | 20          | 241    | 244    | 241    | 0.241     | 0.244     | 0.241     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 3.41                               | 3.45  | 3.41  | 2046.71                        | 2072.19 | 2046.71 | 2055.20   |
| 3  |                    | 30          | 174    | 173    | 170    | 0.174     | 0.173     | 0.170     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 2.48                               | 2.45  | 2.41  | 1477.71                        | 1469.21 | 1443.74 | 1463.55   |
| 4  |                    | 40          | 133    | 132    | 135    | 0.133     | 0.132     | 0.135     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 1.88                               | 1.87  | 1.91  | 1129.51                        | 1121.02 | 1148.50 | 1132.34   |
| 5  |                    | 50          | 106    | 107    | 105    | 0.106     | 0.108     | 0.107     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 1.50                               | 1.51  | 1.49  | 900.21                         | 908.70  | 891.72  | 900.21    |
| 6  |                    | 60          | 97     | 97.5   | 97.5   | 0.097     | 0.098     | 0.098     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 1.37                               | 1.38  | 1.38  | 823.78                         | 828.03  | 828.03  | 828.03    |
| 1  | 3<br>Ketabalan 3   | 10          | 689.5  | 686    | 686    | 0.670     | 0.666     | 0.666     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 9.43                               | 9.43  | 9.43  | 5685.77                        | 5656.05 | 5685.05 | 5685.96   |
| 2  |                    | 20          | 299    | 297    | 297    | 0.299     | 0.297     | 0.297     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 4.23                               | 4.20  | 4.20  | 2539.28                        | 2522.28 | 2522.28 | 2527.95   |
| 3  |                    | 30          | 221    | 217    | 224    | 0.221     | 0.217     | 0.224     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 3.13                               | 3.07  | 3.17  | 1876.86                        | 1842.89 | 1802.34 | 1874.03   |
| 4  |                    | 40          | 157    | 161    | 160    | 0.157     | 0.161     | 0.160     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 2.22                               | 2.28  | 2.28  | 1333.33                        | 1387.30 | 1368.01 | 1353.15   |
| 5  |                    | 50          | 130    | 129    | 128    | 0.130     | 0.129     | 0.128     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 1.84                               | 1.83  | 1.81  | 1104.03                        | 1095.54 | 1087.05 | 1085.94   |
| 6  |                    | 60          | 113    | 116    | 114    | 0.113     | 0.116     | 0.114     | 7.065           | 0.0007065      | 10    | 0.16667 | 1.60                               | 1.64  | 1.61  | 959.68                         | 985.14  | 968.15  | 970.88    |

**WORKSHEET ANALISA KEKERUHAN**  
**TEKANAN 0,5 BAR, TEBAL 1  $\phi$  0,2  $\mu$ m**

| NO | KODE SAMPLE  | PENGUKURAN |      |      |
|----|--------------|------------|------|------|
|    |              | 1          | 2    | 3    |
| 1  | Awal         | 76.7       | 74.7 | 76   |
| 2  | Pretreatment | 50.8       | 51.2 | 50.6 |
| 3  | 0,5.1.10     | 13.4       | 13.5 | 13.4 |
| 4  | 0,5.1.20     | 12.9       | 12.6 | 12.4 |
| 5  | 0,5.1.30     | 12.5       | 12.6 | 12.4 |
| 6  | 0,5.1.40     | 11.9       | 11.8 | 11.8 |
| 7  | 0,5.1.50     | 11         | 11.1 | 11.2 |
| 8  | 0,5.1.60     | 9.8        | 10   | 10   |

**WORKSHEET ANALISA KEKERUHAN**  
**TEKANAN 1 BAR, TEBAL 1  $\phi$  0,2  $\mu$ m**

| NO | KODE SAMPLE  | PENGUKURAN |      |      |
|----|--------------|------------|------|------|
|    |              | 1          | 2    | 3    |
| 1  | Awal         | 76.7       | 74.7 | 76   |
| 2  | Pretreatment | 50.8       | 51.2 | 50.6 |
| 3  | 1.1.10       | 8.7        | 8.7  | 8.6  |
| 4  | 1.1.20       | 8.1        | 8.2  | 8    |
| 5  | 1.1.30       | 7.8        | 7.7  | 7.7  |
| 6  | 1.1.40       | 7.3        | 7.1  | 7.4  |
| 7  | 1.1.50       | 6.6        | 6.4  | 6.5  |
| 8  | 1.1.60       | 5.8        | 5.9  | 5.9  |

**WORKSHEET ANALISA KEKERUHAN**  
**TEKANAN 2 BAR, TEBAL 1  $\phi$  0,2  $\mu$ m**

| NO | KODE SAMPLE  | PENGUKURAN |      |      |
|----|--------------|------------|------|------|
|    |              | 1          | 2    | 3    |
| 1  | Awal         | 76.7       | 74.7 | 76   |
| 2  | Pretreatment | 50.8       | 51.2 | 50.6 |
| 3  | 2.1.10       | 6          | 6.1  | 6.3  |
| 4  | 2.1.20       | 5.6        | 5.5  | 5.5  |
| 5  | 2.1.30       | 4.5        | 4.7  | 4.6  |
| 6  | 2.1.40       | 4.2        | 4.1  | 4.1  |
| 7  | 2.1.50       | 3.6        | 3.6  | 3.5  |
| 8  | 2.1.60       | 2.8        | 2.8  | 2.6  |

**WORKSHEET ANALISA KEKERUHAN**  
**TEKANAN 3 BAR, TEBAL 1  $\phi$  0,2  $\mu$ m**

| NO | KODE SAMPLE  | PENGUKURAN |      |      |
|----|--------------|------------|------|------|
|    |              | 1          | 2    | 3    |
| 1  | Awal         | 76.7       | 74.7 | 76   |
| 2  | Pretreatment | 50.8       | 51.2 | 50.6 |
| 3  | 3.1.10       | 5.4        | 5.5  | 5.3  |
| 4  | 3.1.20       | 4.9        | 5    | 4.8  |
| 5  | 3.1.30       | 3.9        | 3.8  | 3.9  |
| 6  | 3.1.40       | 3.3        | 3.4  | 3.4  |
| 7  | 3.1.50       | 3          | 2.9  | 3.1  |
| 8  | 3.1.60       | 2.4        | 2.3  | 2.4  |

**WORKSHEET ANALISA KEKERUHAN**  
**TEKANAN 0,5 BAR, TEBAL 3  $\phi$  0,2  $\mu$ m**

| NO | KODE SAMPLE  | PENGUKURAN |      |      |
|----|--------------|------------|------|------|
|    |              | 1          | 2    | 3    |
| 1  | Awal         | 76.7       | 74.7 | 76   |
| 2  | Pretreatment | 50.8       | 51.2 | 50.6 |
| 3  | 0,5.3.10     | 10.7       | 10.8 | 10.7 |
| 4  | 0,5.3.20     | 10.4       | 10.5 | 10.3 |
| 5  | 0,5.3.30     | 10.2       | 10.1 | 10.1 |
| 6  | 0,5.3.40     | 9.5        | 9.4  | 9.6  |
| 7  | 0,5.3.50     | 8.5        | 8.5  | 8.6  |
| 8  | 0,5.3.60     | 7.7        | 7.6  | 7.7  |

**WORKSHEET ANALISA KEKERUHAN**  
**TEKANAN 1 BAR, TEBAL 3  $\phi$  0,2  $\mu$ m**

| NO | KODE SAMPLE  | PENGUKURAN |      |      |
|----|--------------|------------|------|------|
|    |              | 1          | 2    | 3    |
| 1  | Awal         | 76.7       | 74.7 | 76   |
| 2  | Pretreatment | 50.8       | 51.2 | 50.6 |
| 3  | 1.3.10       | 5.6        | 5.5  | 5.6  |
| 4  | 1.3.20       | 5          | 5    | 5.1  |
| 5  | 1.3.30       | 4          | 4.1  | 4.2  |
| 6  | 1.3.40       | 3.6        | 3.7  | 3.7  |
| 7  | 1.3.50       | 3          | 3.1  | 3.2  |
| 8  | 1.3.60       | 1.9        | 1.8  | 2    |

**WORKSHEET ANALISA KEKERUHAN**  
**TEKANAN 2 BAR, TEBAL 3  $\phi$  0,2  $\mu$ m**

| NO | KODE SAMPLE  | PENGUKURAN |      |      |
|----|--------------|------------|------|------|
|    |              | 1          | 2    | 3    |
| 1  | Awal         | 76.7       | 74.7 | 76   |
| 2  | Pretreatment | 50.8       | 51.2 | 50.6 |
| 3  | 2.3.10       | 3          | 3.2  | 3    |
| 4  | 2.3.20       | 2.7        | 2.8  | 2.7  |
| 5  | 2.3.30       | 2.1        | 2.3  | 2.2  |
| 6  | 2.3.40       | 1.8        | 1.9  | 1.9  |
| 7  | 2.3.50       | 1.5        | 1.4  | 1.4  |
| 8  | 2.3.60       | 1          | 1.2  | 1.1  |

**WORKSHEET ANALISA KEKERUHAN**  
**TEKANAN 3 BAR, TEBAL 3  $\phi$  0,2  $\mu$ m**

| NO | KODE SAMPLE  | PENGUKURAN |      |      |
|----|--------------|------------|------|------|
|    |              | 1          | 2    | 3    |
| 1  | Awal         | 76.7       | 74.7 | 76   |
| 2  | Pretreatment | 50.8       | 51.2 | 50.6 |
| 3  | 3.3.10       | 2.2        | 2    | 2.4  |
| 4  | 3.3.20       | 1.4        | 1.4  | 1.5  |
| 5  | 3.3.30       | 1.3        | 1.3  | 1.4  |
| 6  | 3.3.40       | 1.1        | 1.2  | 1.2  |
| 7  | 3.3.50       | 0.8        | 0.9  | 0.8  |
| 8  | 3.3.60       | 0.6        | 0.7  | 0.7  |

**WORKSHEET ANALISA NITRAT**  
**TEKANAN 0,5 BAR, TEBAL 1  $\phi$  0,2  $\mu$ m**

| NO | KODE SAMPLE  | PENGUKURAN (%T) |      |      |
|----|--------------|-----------------|------|------|
|    |              | 1               | 2    | 3    |
| 1  | Awal         |                 |      |      |
| 2  | Pretreatment | 69              | 69.7 | 68.6 |
| 3  | 0,5.1.10     | 85.3            | 85.6 | 85.5 |
| 4  | 0,5.1.20     | 86.5            | 86.6 | 86.2 |
| 5  | 0,5.1.30     | 86.5            | 86.6 | 86.8 |
| 6  | 0,5.1.40     | 86.8            | 87.1 | 86.6 |
| 7  | 0,5.1.50     | 87.9            | 87.5 | 87.6 |
| 8  | 0,5.1.60     | 88.8            | 88.7 | 88.6 |

**WORKSHEET ANALISA NITRAT**  
**TEKANAN 1 BAR, TEBAL 1  $\phi$  0,2  $\mu$ m**

| NO | KODE SAMPLE  | PENGUKURAN (%T) |      |      |
|----|--------------|-----------------|------|------|
|    |              | 1               | 2    | 3    |
| 1  | Awal         |                 |      |      |
| 2  | Pretreatment | 69              | 69.7 | 68.6 |
| 3  | 1.1.10       | 90.6            | 90.9 | 90.6 |
| 4  | 1.1.20       | 91.2            | 90.9 | 91.3 |
| 5  | 1.1.30       | 92.3            | 91.9 | 92   |
| 6  | 1.1.40       | 92.3            | 92.5 | 92.6 |
| 7  | 1.1.50       | 92.8            | 93   | 92.8 |
| 8  | 1.1.60       | 93.5            | 93.9 | 93.3 |

**WORKSHEET ANALISA NTRAT**  
**TEKANAN 2 BAR, TEBAL 1  $\phi$  0,2  $\mu$ m**

| NO | KODE SAMPLE  | PENGUKURAN (%T) |      |       |
|----|--------------|-----------------|------|-------|
|    |              | 1               | 2    | 3     |
| 1  | Awal         |                 |      |       |
| 2  | Pretreatment | 69              | 69.7 | 68.6  |
| 3  | 2.1.10       | 91.8            | 91.4 | 91.5  |
| 4  | 2.1.20       | 91.8            | 91.8 | 91.9  |
| 5  | 2.1.30       | 92.2            | 92.5 | 92    |
| 6  | 2.1.40       | 92.8            | 92.2 | 92.5  |
| 7  | 2.1.50       | 93.1            | 93.4 | 93    |
| 8  | 2.1.60       | 94.5            | 94.1 | 94.37 |

**WORKSHEET ANALISA NITRAT**  
**TEKANAN 3 BAR, TEBAL 1  $\phi$  0,2  $\mu$ m**

| NO | KODE SAMPLE  | PENGUKURAN (%T) |      |      |
|----|--------------|-----------------|------|------|
|    |              | 1               | 2    | 3    |
| 1  | Awal         |                 |      |      |
| 2  | Pretreatment | 69              | 69.7 | 68.6 |
| 3  | 3.1.10       | 93.8            | 93.4 | 93   |
| 4  | 3.1.20       | 94.6            | 94.5 | 94.9 |
| 5  | 3.1.30       | 95.4            | 95.7 | 95.8 |
| 6  | 3.1.40       | 96.3            | 96.6 | 96.7 |
| 7  | 3.1.50       | 97              | 97.2 | 97.5 |
| 8  | 3.1.60       | 97.5            | 97.2 | 97.5 |

**WORKSHEET ANALISA NITRAT**  
**TEKANAN 0,5 BAR, TEBAL 3  $\phi$  0,2  $\mu$ m**

| NO | KODE SAMPLE  | PENGUKURAN (%T) |      |      |
|----|--------------|-----------------|------|------|
|    |              | 1               | 2    | 3    |
| 1  | Awal         |                 |      |      |
| 2  | Pretreatment | 69              | 69.7 | 68.6 |
| 3  | 0,5.3.10     | 93.8            | 93.4 | 93   |
| 4  | 0,5.3.20     | 94.6            | 94.5 | 94.9 |
| 5  | 0,5.3.30     | 95.4            | 95.7 | 95.8 |
| 6  | 0,5.3.40     | 96.3            | 96.6 | 96.7 |
| 7  | 0,5.3.50     | 97              | 97.2 | 97.5 |
| 8  | 0,5.3.60     | 97.5            | 97.2 | 97.5 |

**WORKSHEET ANALISA NITRAT**  
**TEKANAN 1 BAR, TEBAL 3  $\phi$  0,2  $\mu$ m**

| NO | KODE SAMPLE  | PENGUKURAN (%T) |      |      |
|----|--------------|-----------------|------|------|
|    |              | 1               | 2    | 3    |
| 1  | Awal         |                 |      |      |
| 2  | Pretreatment | 69              | 69.7 | 68.6 |
| 3  | 1.3.10       | 90.4            | 90.2 | 90.5 |
| 4  | 1.3.20       | 90.7            | 90.4 | 90.6 |
| 5  | 1.3.30       | 90.9            | 90.6 | 90.7 |
| 6  | 1.3.40       | 91              | 91.4 | 91.3 |
| 7  | 1.3.50       | 92.2            | 91.6 | 91.9 |
| 8  | 1.3.60       | 94.3            | 93.9 | 94   |

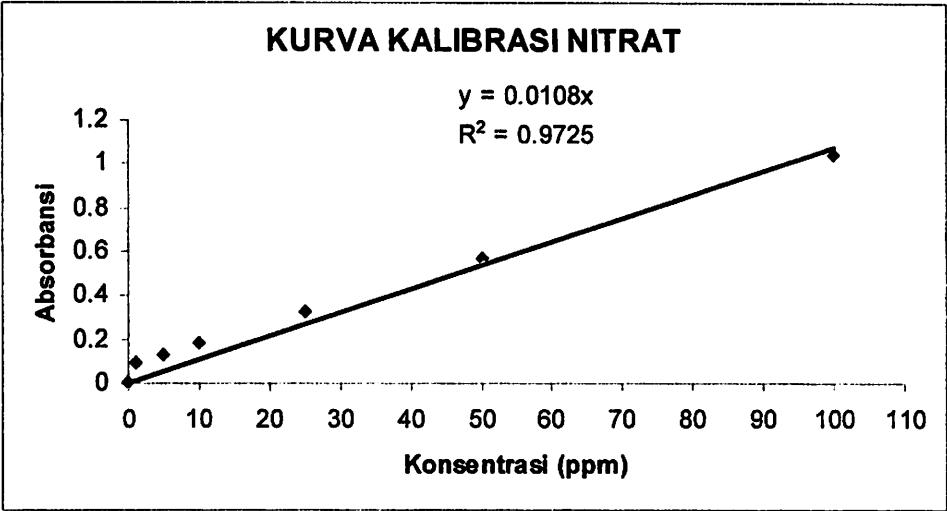
**WORKSHEET ANALISA NITRAT**  
**TEKANAN 2 BAR, TEBAL 3  $\phi$  0,2  $\mu$ m**

| NO | KODE SAMPLE  | PENGUKURAN (%T) |      |      |
|----|--------------|-----------------|------|------|
|    |              | 1               | 2    | 3    |
| 1  | Awal         |                 |      |      |
| 2  | Pretreatment | 69              | 69.7 | 68.6 |
| 3  | 2.3.10       | 92.1            | 91.9 | 92   |
| 4  | 2.3.20       | 93.2            | 93.3 | 93.3 |
| 5  | 2.3.30       | 93.7            | 93.9 | 93.7 |
| 6  | 2.3.40       | 94.3            | 94.4 | 94.5 |
| 7  | 2.3.50       | 95.1            | 95.2 | 95.4 |
| 8  | 2.3.60       | 96.5            | 96.8 | 96.9 |

**WORKSHEET ANALISA NITRAT**  
**TEKANAN 3 BAR, TEBAL 3  $\phi$  0,2  $\mu$ m**

| NO | KODE SAMPLE  | PENGUKURAN (%T) |      |      |
|----|--------------|-----------------|------|------|
|    |              | 1               | 2    | 3    |
| 1  | Awal         |                 |      |      |
| 2  | Pretreatment | 69              | 69.7 | 68.6 |
| 3  | 3.3.10       | 93.4            | 93.1 | 93.7 |
| 4  | 3.3.20       | 94.7            | 94.4 | 94.8 |
| 5  | 3.3.30       | 94.8            | 94.6 | 95   |
| 6  | 3.3.40       | 95.8            | 95.6 | 95.5 |
| 7  | 3.3.50       | 96.4            | 96.6 | 96.7 |
| 8  | 3.3.60       | 97.7            | 97.4 | 97.5 |

| KONSENTRASI<br>LARUTAN<br>NITRAT | %T   |      |      | RATA-<br>RATA | ABSOBANSI |
|----------------------------------|------|------|------|---------------|-----------|
|                                  | 1    | 2    | 3    |               |           |
| 1                                | 93.7 | 93.6 | 93.2 | 99.5          | 0.002     |
| 5                                | 49.2 | 48.3 | 48.8 | 98.3          | 0.007     |
| 10                               | 47.2 | 46.7 | 46.6 | 49.1          | 0.309     |
| 25                               | 18.3 | 18.2 | 18.7 | 43.1          | 0.366     |
| 50                               | 16.8 | 16.7 | 16.8 | 21.5          | 0.668     |
| 100                              | 15.3 | 15.2 | 15.3 | 10.7          | 0.971     |



Nomor : 223 S/LKA MLG/VI/06

Halaman 2 dari 2  
Page 2 of 2

Kode Contoh Uji : Ext 01/AJ/VI/2006/01  
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -  
Sampling Method

Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang  
Place of Analysis

Tanggal Analisa : 01-02 Juni 2006  
Testing Date(s)

## HASIL ANALISA Result of Analysis

| No | Parameter                    | Satuan    | Hasil | Metode Analisa           | Ket. |
|----|------------------------------|-----------|-------|--------------------------|------|
| 1  | Kekeruhan                    | NTU       | 75,64 | QI/LKA/11 (Turbidimeter) | -    |
| 2  | Nitrat (NO <sub>3</sub> -N)* | mg/L      | 19,02 | SNI 06-2506-1991         | -    |
| 3  | Coli tinja *)                | MPN/100ml | 1700  | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) | -    |

\*) Tidak termasuk ruang lingkup akreditasi

Kesimpulan : -  
Conclusion

# LABORATORIUM KUALITAS AIR

Jl. Surabaya 2A Malang, Telp.(0341) 551971, Fak.(0341) 551976, E-mail laboratorium@jasatirta1.go.id  
Ds. Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Telp (0321) 331860 & Fax (0321) 395134

Nomor : 235 E/LKA MLG/VI/06

Halaman 2 dari 9  
Page 2 of 9

Kode Contoh Uji : Ext 118-147/AJ/I/2006/01-49  
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -  
Sampling Method

Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang  
Place of Analysis

Tanggal Analisa : 18 Juli 2006  
Testing Date(s)

## HASIL ANALISA Result of Analysis

| No | Parameter    | Satuan    | Hasil | Metoda Analisa           | Keterangan |
|----|--------------|-----------|-------|--------------------------|------------|
| I  |              |           |       |                          |            |
| 1  | Pretreatment | MPN/100ml | 1300  | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| II |              |           |       |                          |            |
| 1  | E-1.0,5.1.10 | MPN/100ml | 110   | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 2  | E-2.0,5.1.10 | MPN/100ml | 115   | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 3  | E-3.0,5.1.10 | MPN/100ml | 110   | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 4  | E-1.0,5.1.20 | MPN/100ml | 90    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 5  | E-2.0,5.1.20 | MPN/100ml | 90    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 6  | E-3.0,5.1.20 | MPN/100ml | 95    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 7  | E-1.0,5.1.30 | MPN/100ml | 80    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 8  | E-2.0,5.1.30 | MPN/100ml | 85    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 9  | E-3.0,5.1.30 | MPN/100ml | 70    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 10 | E-1.0,5.1.40 | MPN/100ml | 70    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 11 | E-2.0,5.1.40 | MPN/100ml | 75    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 12 | E-3.0,5.1.40 | MPN/100ml | 65    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 13 | E-1.0,5.1.50 | MPN/100ml | 60    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 14 | E-2.0,5.1.50 | MPN/100ml | 65    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 15 | E-3.0,5.1.50 | MPN/100ml | 65    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 16 | E-1.0,5.1.60 | MPN/100ml | 55    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 17 | E-2.0,5.1.60 | MPN/100ml | 65    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 18 | E-3.0,5.1.60 | MPN/100ml | 65    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |

Nomor : 235 E/LKA MLG/VI/06

Halaman 3 dari 9  
Page 3 of 9

## HASIL ANALISA *Result of Analysis*

| No  | Uraian     | Satuan    | Hasil | Metoda Analisa           | Keterangan |
|-----|------------|-----------|-------|--------------------------|------------|
| III |            |           |       |                          |            |
| 1   | E-1.1.1.10 | MPN/100ml | 85    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 2   | E-2.1.1.10 | MPN/100ml | 85    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 3   | E-3.1.1.10 | MPN/100ml | 90    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 4   | E-1.1.1.20 | MPN/100ml | 70    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 5   | E-2.1.1.20 | MPN/100ml | 70    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 6   | E-3.1.1.20 | MPN/100ml | 75    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 7   | E-1.1.1.30 | MPN/100ml | 61    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 8   | E-2.1.1.30 | MPN/100ml | 60    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 9   | E-3.1.1.30 | MPN/100ml | 60    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 10  | E-1.1.1.40 | MPN/100ml | 55    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 11  | E-2.1.1.40 | MPN/100ml | 50    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 12  | E-3.1.1.40 | MPN/100ml | 55    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 13  | E-1.1.1.50 | MPN/100ml | 40    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 14  | E-2.1.1.50 | MPN/100ml | 45    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 15  | E-3.1.1.50 | MPN/100ml | 40    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 16  | E-1.1.1.60 | MPN/100ml | 30    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 17  | E-2.1.1.60 | MPN/100ml | 30    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 18  | E-3.1.1.60 | MPN/100ml | 35    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |

## HASIL ANALISA Result of Analysis

| No        | Uraian     | Satuan    | Hasil | Metoda Analisa           | Keterangan |
|-----------|------------|-----------|-------|--------------------------|------------|
| <b>IV</b> |            |           |       |                          |            |
| 1         | E-1.2.1.10 | MPN/100ml | 60    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 2         | E-2.2.1.10 | MPN/100ml | 60    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 3         | E-3.2.1.10 | MPN/100ml | 65    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 4         | E-1.2.1.20 | MPN/100ml | 58    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 5         | E-2.2.1.20 | MPN/100ml | 55    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 6         | E-3.2.1.20 | MPN/100ml | 55    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 7         | E-1.2.1.30 | MPN/100ml | 45    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 8         | E-2.2.1.30 | MPN/100ml | 40    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 9         | E-3.2.1.30 | MPN/100ml | 40    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 10        | E-1.2.1.40 | MPN/100ml | 37    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 11        | E-2.2.1.40 | MPN/100ml | 35    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 12        | E-3.2.1.40 | MPN/100ml | 35    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 13        | E-1.2.1.50 | MPN/100ml | 25    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 14        | E-2.2.1.50 | MPN/100ml | 20    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 15        | E-3.2.1.50 | MPN/100ml | 20    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 16        | E-1.2.1.60 | MPN/100ml | 15    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 17        | E-2.2.1.60 | MPN/100ml | 10    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 18        | E-3.2.1.60 | MPN/100ml | 15    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |

Nomor : 235 E/LKA MLG/VI/06

Halaman 5 dari 9  
Page 5 of 9

## HASIL ANALISA Result of Analysis

| No | Uraian     | Satuan    | Hasil | Metoda Analisa           | Keterangan |
|----|------------|-----------|-------|--------------------------|------------|
| V  |            |           |       |                          |            |
| 1  | E-1.3.1.10 | MPN/100ml | 40    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 2  | E-2.3.1.10 | MPN/100ml | 45    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 3  | E-3.3.1.10 | MPN/100ml | 45    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 4  | E-1.3.1.20 | MPN/100ml | 39    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 5  | E-2.3.1.20 | MPN/100ml | 35    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 6  | E-3.3.1.20 | MPN/100ml | 35    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 7  | E-1.3.1.30 | MPN/100ml | 30    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 8  | E-2.3.1.30 | MPN/100ml | 30    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 9  | E-3.3.1.30 | MPN/100ml | 35    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 10 | E-1.3.1.40 | MPN/100ml | 20    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 11 | E-2.3.1.40 | MPN/100ml | 20    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 12 | E-3.3.1.40 | MPN/100ml | 15    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 13 | E-1.3.1.50 | MPN/100ml | 10    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 14 | E-2.3.1.50 | MPN/100ml | 10    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 15 | E-3.3.1.50 | MPN/100ml | 15    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 16 | E-1.3.1.60 | MPN/100ml | 5     | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 17 | E-2.3.1.60 | MPN/100ml | 5     | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 18 | E-3.3.1.60 | MPN/100ml | 3     | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |

## HASIL ANALISA

### Result of Analysis

| No        | Uraian       | Satuan    | Hasil | Metoda Analisa           | Keterangan |
|-----------|--------------|-----------|-------|--------------------------|------------|
| <b>VI</b> |              |           |       |                          |            |
| <b>1</b>  | E-1.0,5.3.10 | MPN/100ml | 80    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| <b>2</b>  | E-2.0,5.3.10 | MPN/100ml | 80    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| <b>3</b>  | E-3.0,5.3.10 | MPN/100ml | 75    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| <b>4</b>  | E-1.0,5.3.20 | MPN/100ml | 70    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| <b>5</b>  | E-2.0,5.3.20 | MPN/100ml | 65    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| <b>6</b>  | E-3.0,5.3.20 | MPN/100ml | 65    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| <b>7</b>  | E-1.0,5.3.30 | MPN/100ml | 50    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| <b>8</b>  | E-2.0,5.3.30 | MPN/100ml | 50    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| <b>9</b>  | E-3.0,5.3.30 | MPN/100ml | 55    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| <b>10</b> | E-1.0,5.3.40 | MPN/100ml | 40    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| <b>11</b> | E-2.0,5.3.40 | MPN/100ml | 40    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| <b>12</b> | E-3.0,5.3.40 | MPN/100ml | 45    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| <b>13</b> | E-1.0,5.3.50 | MPN/100ml | 35    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| <b>14</b> | E-2.0,5.3.50 | MPN/100ml | 30    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| <b>15</b> | E-3.0,5.3.50 | MPN/100ml | 30    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| <b>16</b> | E-1.0,5.3.60 | MPN/100ml | 25    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| <b>17</b> | E-2.0,5.3.60 | MPN/100ml | 20    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| <b>18</b> | E-3.0,5.3.60 | MPN/100ml | 20    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |



## LABORATORIUM KUALITAS AIR

Jl. Surabaya 2A Malang, Telp.(0341) 551971, Fak.(0341) 551976, E-mail :laboratorium@jasatirta1.go.id  
Ds. Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Telp (0321) 331860 & Fax (0321) 395134

Nomor : 235 E/LKA MLG/VI/06

Halaman 7 dari 9  
Page 7 of 9

**HASIL ANALISA**  
*Result of Analysis*

| No  | Uraian     | Satuan    | Hasil | Metoda Analisa           | Keterangan |
|-----|------------|-----------|-------|--------------------------|------------|
| VII |            |           |       |                          |            |
| 1   | E-1.1.3.10 | MPN/100ml | 55    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 2   | E-2.1.3.10 | MPN/100ml | 50    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 3   | E-3.1.3.10 | MPN/100ml | 51    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 4   | E-1.1.3.20 | MPN/100ml | 50    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 5   | E-2.1.3.20 | MPN/100ml | 50    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 6   | E-3.1.3.20 | MPN/100ml | 45    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 7   | E-1.1.3.30 | MPN/100ml | 40    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 8   | E-2.1.3.30 | MPN/100ml | 40    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 9   | E-3.1.3.30 | MPN/100ml | 44    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 10  | E-1.1.3.40 | MPN/100ml | 34    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 11  | E-2.1.3.40 | MPN/100ml | 35    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 12  | E-3.1.3.40 | MPN/100ml | 30    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 13  | E-1.1.3.50 | MPN/100ml | 25    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 14  | E-2.1.3.50 | MPN/100ml | 25    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 15  | E-3.1.3.50 | MPN/100ml | 30    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 16  | E-1.1.3.60 | MPN/100ml | 15    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 17  | E-2.1.3.60 | MPN/100ml | 10    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 18  | E-3.1.3.60 | MPN/100ml | 10    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |

## HASIL ANALISA Result of Analysis

| No          | Uraian     | Satuan    | Hasil | Metoda Analisa           | Keterangan |
|-------------|------------|-----------|-------|--------------------------|------------|
| <b>VIII</b> |            |           |       |                          |            |
| 1           | E-1.2.3.10 | MPN/100ml | 40    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 2           | E-2.2.3.10 | MPN/100ml | 40    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 3           | E-3.2.3.10 | MPN/100ml | 42    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 4           | E-1.2.3.20 | MPN/100ml | 35    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 5           | E-2.2.3.20 | MPN/100ml | 35    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 6           | E-3.2.3.20 | MPN/100ml | 30    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 7           | E-1.2.3.30 | MPN/100ml | 30    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 8           | E-2.2.3.30 | MPN/100ml | 25    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 9           | E-3.2.3.30 | MPN/100ml | 20    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 10          | E-1.2.3.40 | MPN/100ml | 20    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 11          | E-2.2.3.40 | MPN/100ml | 20    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 12          | E-3.2.3.40 | MPN/100ml | 25    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 13          | E-1.2.3.50 | MPN/100ml | 10    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 14          | E-2.2.3.50 | MPN/100ml | 10    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 15          | E-3.2.3.50 | MPN/100ml | 15    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 16          | E-1.2.3.60 | MPN/100ml | 5     | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 17          | E-2.2.3.60 | MPN/100ml | 5     | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 18          | E-3.2.3.60 | MPN/100ml | 1     | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |

Nomor : 235 E/LKA MLG/VI/06

Halaman 9 dari 9  
Page 9 of 9

## HASIL ANALISA Result of Analysis

| No | Uraian     | Satuan    | Hasil | Metoda Analisa           | Keterangan |
|----|------------|-----------|-------|--------------------------|------------|
| IX |            |           |       |                          |            |
| 1  | E-1.3.3.10 | MPN/100ml | 35    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 2  | E-2.3.3.10 | MPN/100ml | 35    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 3  | E-3.3.3.10 | MPN/100ml | 30    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 4  | E-1.3.3.20 | MPN/100ml | 25    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 5  | E-2.3.3.20 | MPN/100ml | 20    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 6  | E-3.3.3.20 | MPN/100ml | 24    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 7  | E-1.3.3.30 | MPN/100ml | 20    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 8  | E-2.3.3.30 | MPN/100ml | 20    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 9  | E-3.3.3.30 | MPN/100ml | 15    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 10 | E-1.3.3.40 | MPN/100ml | 15    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 11 | E-2.3.3.40 | MPN/100ml | 15    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 12 | E-3.3.3.40 | MPN/100ml | 10    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 13 | E-1.3.3.50 | MPN/100ml | 10    | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 14 | E-2.3.3.50 | MPN/100ml | 5     | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 15 | E-3.3.3.50 | MPN/100ml | 5     | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 16 | E-1.3.3.60 | MPN/100ml | 1     | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 17 | E-2.3.3.60 | MPN/100ml | 1     | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |
| 18 | E-3.3.3.60 | MPN/100ml | 0     | QI/LKA/18 (Tabung Ganda) |            |

\*). Tidak termasuk ruang lingkup akreditasi

Kesimpulan  
Conclusion

: -

**LAMPIRAN 4**

**DATA ANALISA**

**STATISTIK**

FLUKS

Descriptive Statistics: Fluks

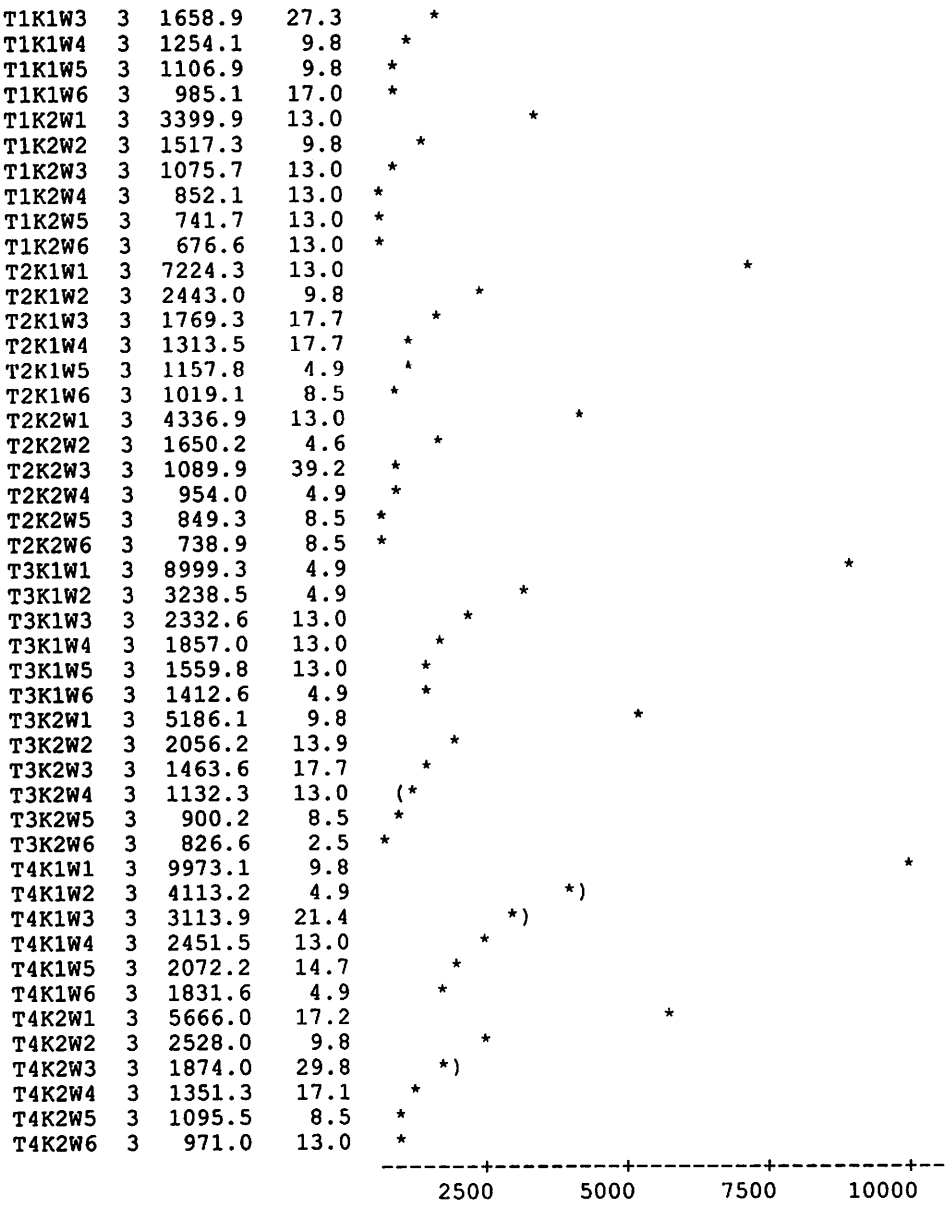
| Variable | PERLAKUAN | N | Mean   | SE Mean | StDev | Minimum | Maximum |
|----------|-----------|---|--------|---------|-------|---------|---------|
| Fluks    | T1K1W1    | 3 | 5429.6 | 10.2    | 17.7  | 5409.8  | 5443.7  |
|          | T1K1W2    | 3 | 2270.3 | 12.3    | 21.4  | 2250.5  | 2293.0  |
|          | T1K1W3    | 3 | 1658.9 | 15.8    | 27.3  | 1639.1  | 1690.0  |
|          | T1K1W4    | 3 | 1254.1 | 5.66    | 9.80  | 1248.4  | 1265.4  |
|          | T1K1W5    | 3 | 1106.9 | 5.66    | 9.81  | 1095.5  | 1112.5  |
|          | T1K1W6    | 3 | 985.14 | 9.81    | 16.99 | 968.15  | 1002.12 |
|          | T1K2W1    | 3 | 3399.9 | 7.49    | 13.0  | 3388.5  | 3414.0  |
|          | T1K2W2    | 3 | 1517.3 | 5.66    | 9.80  | 1511.7  | 1528.7  |
|          | T1K2W3    | 3 | 1075.7 | 7.49    | 13.0  | 1061.6  | 1087.1  |
|          | T1K2W4    | 3 | 852.09 | 7.49    | 12.97 | 840.76  | 866.24  |
|          | T1K2W5    | 3 | 741.68 | 7.49    | 12.97 | 730.36  | 755.84  |
|          | T1K2W6    | 3 | 676.58 | 7.49    | 12.97 | 662.42  | 687.90  |
|          | T2K1W1    | 3 | 7224.3 | 7.49    | 13.0  | 7210.2  | 7235.7  |
|          | T2K1W2    | 3 | 2443.0 | 5.66    | 9.80  | 2437.4  | 2454.4  |
|          | T2K1W3    | 3 | 1769.3 | 10.2    | 17.7  | 1749.5  | 1783.4  |
|          | T2K1W4    | 3 | 1313.5 | 10.2    | 17.7  | 1299.4  | 1333.3  |
|          | T2K1W5    | 3 | 1157.8 | 2.83    | 4.90  | 1155.0  | 1163.5  |
|          | T2K1W6    | 3 | 1019.1 | 4.90    | 8.49  | 1010.6  | 1027.6  |
|          | T2K2W1    | 3 | 4336.9 | 7.49    | 13.0  | 4322.7  | 4348.2  |
|          | T2K2W2    | 3 | 1650.2 | 2.68    | 4.64  | 1647.6  | 1655.6  |
|          | T2K2W3    | 3 | 1089.9 | 22.6    | 39.2  | 1044.6  | 1112.5  |
|          | T2K2W4    | 3 | 954.00 | 2.83    | 4.90  | 951.17  | 959.66  |
|          | T2K2W5    | 3 | 849.26 | 4.90    | 8.50  | 840.76  | 857.75  |
|          | T2K2W6    | 3 | 738.85 | 4.90    | 8.50  | 730.36  | 747.35  |
|          | T3K1W1    | 3 | 8999.3 | 2.83    | 4.90  | 8993.6  | 9002.1  |
|          | T3K1W2    | 3 | 3238.5 | 2.83    | 4.90  | 3235.7  | 3244.2  |
|          | T3K1W3    | 3 | 2332.6 | 7.49    | 13.0  | 2318.5  | 2344.0  |
|          | T3K1W4    | 3 | 1857.0 | 7.49    | 13.0  | 1842.9  | 1868.4  |
|          | T3K1W5    | 3 | 1559.8 | 7.49    | 13.0  | 1545.7  | 1571.1  |
|          | T3K1W6    | 3 | 1412.6 | 2.83    | 4.90  | 1409.8  | 1418.3  |
|          | T3K2W1    | 3 | 5186.1 | 5.66    | 9.80  | 5180.5  | 5197.5  |
|          | T3K2W2    | 3 | 2056.2 | 8.04    | 13.9  | 2046.7  | 2072.2  |
|          | T3K2W3    | 3 | 1463.6 | 10.2    | 17.7  | 1443.7  | 1477.7  |
|          | T3K2W4    | 3 | 1132.3 | 7.49    | 13.0  | 1121.0  | 1146.5  |
|          | T3K2W5    | 3 | 900.21 | 4.90    | 8.49  | 891.72  | 908.70  |
|          | T3K2W6    | 3 | 826.61 | 1.42    | 2.45  | 823.78  | 828.03  |
|          | T4K1W1    | 3 | 9973.1 | 5.66    | 9.81  | 9961.8  | 9978.8  |
|          | T4K1W2    | 3 | 4113.2 | 2.83    | 4.91  | 4110.4  | 4118.9  |
|          | T4K1W3    | 3 | 3113.9 | 12.3    | 21.4  | 3091.3  | 3133.8  |
|          | T4K1W4    | 3 | 2451.5 | 7.49    | 13.0  | 2437.4  | 2462.9  |
|          | T4K1W5    | 3 | 2072.2 | 8.49    | 14.7  | 2055.2  | 2080.7  |
|          | T4K1W6    | 3 | 1831.6 | 2.83    | 4.90  | 1825.9  | 1834.4  |
|          | T4K2W1    | 3 | 5666.0 | 9.91    | 17.2  | 5656.1  | 5685.8  |
|          | T4K2W2    | 3 | 2528.0 | 5.66    | 9.81  | 2522.3  | 2539.3  |
|          | T4K2W3    | 3 | 1874.0 | 17.2    | 29.8  | 1842.9  | 1902.3  |
|          | T4K2W4    | 3 | 1351.3 | 9.85    | 17.1  | 1333.3  | 1367.3  |
|          | T4K2W5    | 3 | 1095.5 | 4.90    | 8.49  | 1087.1  | 1104.0  |
|          | T4K2W6    | 3 | 970.98 | 7.49    | 12.97 | 959.66  | 985.14  |

One-way ANOVA: Fluks versus PERLAKUAN

| Source    | DF  | SS        | MS       | F        | P     |
|-----------|-----|-----------|----------|----------|-------|
| PERLAKUAN | 47  | 618802888 | 13166019 | 62953.64 | 0.000 |
| Error     | 96  | 20077     | 209      |          |       |
| Total     | 143 | 618822965 |          |          |       |

S = 14.46    R-Sq = 100.00%    R-Sq(adj) = 100.00%

| Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev |   |        |       |  |
|---------------------------------------------------|---|--------|-------|--|
| Level                                             | N | Mean   | StDev |  |
| T1K1W1                                            | 3 | 5429.6 | 17.7  |  |
| T1K1W2                                            | 3 | 2270.3 | 21.4  |  |



Pooled StDev = 14.5

Correlations: TEKINAN, WAKTU OPERASI, KETEBALAN, Fluks

|              | TEKINAN         | WAKTU OPERAS    | KETEBALAN       |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| WAKTU OPERAS | -0.000<br>1.000 |                 |                 |
| KETEBALAN    | 0.000<br>1.000  | 0.000<br>1.000  |                 |
| Fluks        | 0.641<br>0.001  | -0.757<br>0.000 | -0.704<br>0.001 |

Cell Contents: Pearson correlation  
P-Value

Regression Analysis: Fluks versus TEKINAN, WAKTU OPERASI, KETEBALAN

Weighted analysis using weights in Fluks

The regression equation is

Fluks = 7697 + 824 TEKANAN - 134 WAKTU OPERASI - 1009 KETEBALAN

| Predictor     | Coef     | SE Coef | T      | P     | VIF |
|---------------|----------|---------|--------|-------|-----|
| Constant      | 7696.6   | 412.3   | 18.67  | 0.000 |     |
| TEKANAN       | 824.4    | 134.2   | 6.14   | 0.000 | 1.0 |
| WAKTU OPERASI | -133.879 | 7.842   | -17.07 | 0.000 | 1.0 |
| KETEBALAN     | -1009.2  | 133.5   | -7.56  | 0.000 | 1.0 |

S = 75505.4    R-Sq = 73.5%    R-Sq(adj) = 73.0%

#### Analysis of Variance

| Source         | DF  | SS          | MS          | F        | P     |
|----------------|-----|-------------|-------------|----------|-------|
| Regression     | 3   | 2.21769E+12 | 7.39229E+11 | 129.66   | 0.000 |
| Residual Error | 140 | 7.98149E+11 | 5701067790  |          |       |
| Lack of Fit    | 44  | 7.98107E+11 | 18138791408 | 40810.41 | 0.000 |
| Pure Error     | 96  | 42668619    | 444465      |          |       |
| Total          | 143 | 3.01584E+12 |             |          |       |

| Source        | DF | Seq SS      |
|---------------|----|-------------|
| TEKANAN       | 1  | 2.19181E+11 |
| WAKTU OPERASI | 1  | 1.67244E+12 |
| KETEBALAN     | 1  | 3.26069E+11 |

KEKERUHAN

Descriptive Statistics: %KEKERUHAN

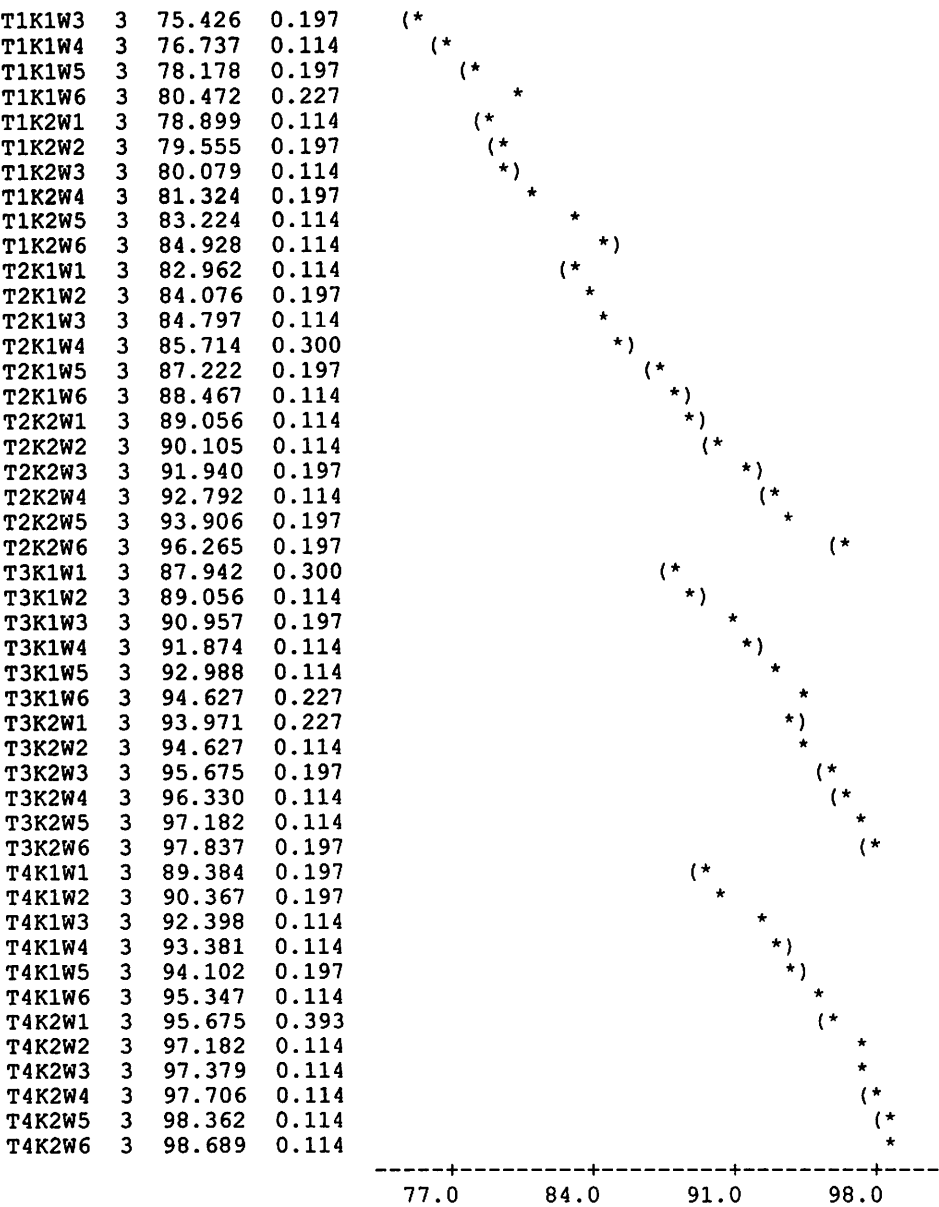
| Variable   | PERLAKUAN | N | Mean   | SE Mean | StDev | Minimum | Maximum |
|------------|-----------|---|--------|---------|-------|---------|---------|
| %KEKERUHAN | T1K1W1    | 3 | 73.591 | 0.0655  | 0.114 | 73.460  | 73.657  |
|            | T1K1W2    | 3 | 74.443 | 0.114   | 0.197 | 74.247  | 74.640  |
|            | T1K1W3    | 3 | 75.426 | 0.114   | 0.197 | 75.230  | 75.623  |
|            | T1K1W4    | 3 | 76.737 | 0.0655  | 0.114 | 76.606  | 76.802  |
|            | T1K1W5    | 3 | 78.178 | 0.114   | 0.197 | 77.982  | 78.375  |
|            | T1K1W6    | 3 | 80.472 | 0.131   | 0.227 | 80.341  | 80.734  |
|            | T1K2W1    | 3 | 78.899 | 0.0655  | 0.114 | 78.768  | 78.965  |
|            | T1K2W2    | 3 | 79.555 | 0.114   | 0.197 | 79.358  | 79.751  |
|            | T1K2W3    | 3 | 80.079 | 0.0655  | 0.114 | 79.948  | 80.144  |
|            | T1K2W4    | 3 | 81.324 | 0.114   | 0.197 | 81.127  | 81.520  |
|            | T1K2W5    | 3 | 83.224 | 0.0655  | 0.114 | 83.093  | 83.290  |
|            | T1K2W6    | 3 | 84.928 | 0.0655  | 0.114 | 84.862  | 85.059  |
|            | T2K1W1    | 3 | 82.962 | 0.0655  | 0.114 | 82.897  | 83.093  |
|            | T2K1W2    | 3 | 84.076 | 0.114   | 0.197 | 83.880  | 84.273  |
|            | T2K1W3    | 3 | 84.797 | 0.0655  | 0.114 | 84.666  | 84.862  |
|            | T2K1W4    | 3 | 85.714 | 0.173   | 0.300 | 85.452  | 86.042  |
|            | T2K1W5    | 3 | 87.222 | 0.114   | 0.197 | 87.025  | 87.418  |
|            | T2K1W6    | 3 | 88.467 | 0.0655  | 0.114 | 88.401  | 88.598  |
|            | T2K2W1    | 3 | 89.056 | 0.0655  | 0.114 | 88.991  | 89.187  |
|            | T2K2W2    | 3 | 90.105 | 0.0655  | 0.114 | 89.974  | 90.170  |
|            | T2K2W3    | 3 | 91.940 | 0.114   | 0.197 | 91.743  | 92.136  |
|            | T2K2W4    | 3 | 92.792 | 0.0655  | 0.114 | 92.726  | 92.923  |
|            | T2K2W5    | 3 | 93.906 | 0.114   | 0.197 | 93.709  | 94.102  |
|            | T2K2W6    | 3 | 96.265 | 0.114   | 0.197 | 96.068  | 96.461  |
|            | T3K1W1    | 3 | 87.942 | 0.173   | 0.300 | 87.615  | 88.205  |
|            | T3K1W2    | 3 | 89.056 | 0.0655  | 0.114 | 88.991  | 89.187  |
|            | T3K1W3    | 3 | 90.957 | 0.114   | 0.197 | 90.760  | 91.153  |
|            | T3K1W4    | 3 | 91.874 | 0.0655  | 0.114 | 91.743  | 91.940  |
|            | T3K1W5    | 3 | 92.988 | 0.0655  | 0.114 | 92.923  | 93.119  |
|            | T3K1W6    | 3 | 94.627 | 0.131   | 0.227 | 94.495  | 94.889  |
|            | T3K2W1    | 3 | 93.971 | 0.131   | 0.227 | 93.709  | 94.102  |
|            | T3K2W2    | 3 | 94.627 | 0.0655  | 0.114 | 94.495  | 94.692  |
|            | T3K2W3    | 3 | 95.675 | 0.114   | 0.197 | 95.478  | 95.872  |
|            | T3K2W4    | 3 | 96.330 | 0.0655  | 0.114 | 96.265  | 96.461  |
|            | T3K2W5    | 3 | 97.182 | 0.0655  | 0.114 | 97.051  | 97.248  |
|            | T3K2W6    | 3 | 97.837 | 0.114   | 0.197 | 97.641  | 98.034  |
|            | T4K1W1    | 3 | 89.384 | 0.114   | 0.197 | 89.187  | 89.581  |
|            | T4K1W2    | 3 | 90.367 | 0.114   | 0.197 | 90.170  | 90.564  |
|            | T4K1W3    | 3 | 92.398 | 0.0655  | 0.114 | 92.333  | 92.530  |
|            | T4K1W4    | 3 | 93.381 | 0.0655  | 0.114 | 93.316  | 93.512  |
|            | T4K1W5    | 3 | 94.102 | 0.114   | 0.197 | 93.906  | 94.299  |
|            | T4K1W6    | 3 | 95.347 | 0.0655  | 0.114 | 95.282  | 95.478  |
|            | T4K2W1    | 3 | 95.675 | 0.227   | 0.393 | 95.282  | 96.068  |
|            | T4K2W2    | 3 | 97.182 | 0.0655  | 0.114 | 97.051  | 97.248  |
|            | T4K2W3    | 3 | 97.379 | 0.0655  | 0.114 | 97.248  | 97.444  |
|            | T4K2W4    | 3 | 97.706 | 0.0655  | 0.114 | 97.641  | 97.837  |
|            | T4K2W5    | 3 | 98.362 | 0.0655  | 0.114 | 98.231  | 98.427  |
|            | T4K2W6    | 3 | 98.689 | 0.0655  | 0.114 | 98.624  | 98.820  |

One-way ANOVA: %KEKERUHAN versus PERLAKUAN

| Source    | DF  | SS       | MS      | F       | P     |
|-----------|-----|----------|---------|---------|-------|
| PERLAKUAN | 47  | 7335.711 | 156.079 | 5192.32 | 0.000 |
| Error     | 96  | 2.886    | 0.030   |         |       |
| Total     | 143 | 7338.596 |         |         |       |

S = 0.1734    R-Sq = 99.96%    R-Sq(adj) = 99.94%

|        |   |        |       | Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev |  |  |  |
|--------|---|--------|-------|---------------------------------------------------|--|--|--|
| Level  | N | Mean   | StDev | -----+-----+-----+-----+-----                     |  |  |  |
| T1K1W1 | 3 | 73.591 | 0.114 | *                                                 |  |  |  |
| T1K1W2 | 3 | 74.443 | 0.197 | *)                                                |  |  |  |



Pooled StDev = 0.173

Correlations: TEKANAN, WAKTU OPERASI, KETEBALAN, %KEKERUHAN

|              |         |               |           |
|--------------|---------|---------------|-----------|
|              | TEKANAN | WAKTU OPERASI | KETEBALAN |
| WAKTU OPERAS | -0.000  |               |           |
|              | 1.000   |               |           |
| KETEBALAN    | 0.000   | 0.000         |           |
|              | 1.000   | 1.000         |           |
| %KEKERUHAN   | 0.779   | 0.982         | 0.801     |
|              | 0.000   | 0.000         | 0.000     |

Cell Contents: Pearson correlation  
P-Value

Regression Analysis: %KEKERUHAN versus TEKANAN, WAKTU OPERASI, KETE  
BALAN

Weighted analysis using weights in %KEKERUHAN

The regression equation is

$$\%KEKERUHAN = 70.9 + 5.61 \text{ TEKANAN} + 0.110 \text{ WAKTU OPERASI} + 2.67 \text{ KETEBALAN}$$

| Predictor     | Coef    | SE Coef | T     | P     | VIF |
|---------------|---------|---------|-------|-------|-----|
| Constant      | 70.9303 | 0.9040  | 78.46 | 0.000 |     |
| TEKANAN       | 5.6075  | 0.2663  | 21.06 | 0.000 | 1.0 |
| WAKTU OPERASI | 0.10966 | 0.01491 | 7.35  | 0.000 | 1.0 |
| KETEBALAN     | 2.6719  | 0.2548  | 10.48 | 0.000 | 1.0 |

S = 28.8542    R-Sq = 81.2%    R-Sq(adj) = 80.8%

#### Analysis of Variance

| Source         | DF  | SS     | MS     | F      | P     |
|----------------|-----|--------|--------|--------|-------|
| Regression     | 3   | 502878 | 167626 | 201.34 | 0.000 |
| Residual Error | 140 | 116559 | 833    |        |       |
| Total          | 143 | 619437 |        |        |       |

| Source        | DF | Seq SS |
|---------------|----|--------|
| TEKANAN       | 1  | 366727 |
| WAKTU OPERASI | 1  | 44632  |
| KETEBALAN     | 1  | 91520  |

NITRAT

Descriptive Statistics: %NITRAT

| Variable | PERLAKUAN | N | Mean   | SE Mean | StDev | Minimum | Maximum |
|----------|-----------|---|--------|---------|-------|---------|---------|
| %NITRAT  | T1K1W1    | 3 | 57.503 | 0.281   | 0.487 | 56.972  | 57.927  |
|          | T1K1W2    | 3 | 60.545 | 0.378   | 0.655 | 59.812  | 61.070  |
|          | T1K1W3    | 3 | 61.171 | 0.275   | 0.476 | 60.754  | 61.689  |
|          | T1K1W4    | 3 | 61.795 | 0.452   | 0.783 | 61.070  | 62.624  |
|          | T1K1W5    | 3 | 63.863 | 0.179   | 0.310 | 63.553  | 64.172  |
|          | T1K1W6    | 3 | 67.550 | 0.175   | 0.303 | 67.248  | 67.853  |
|          | T1K2W1    | 3 | 65.305 | 0.448   | 0.776 | 64.482  | 66.023  |
|          | T1K2W2    | 3 | 67.550 | 0.175   | 0.303 | 67.248  | 67.853  |
|          | T1K2W3    | 3 | 69.475 | 0.101   | 0.175 | 69.374  | 69.677  |
|          | T1K2W4    | 3 | 75.173 | 0.197   | 0.342 | 74.778  | 75.370  |
|          | T1K2W5    | 3 | 72.988 | 0.171   | 0.296 | 72.692  | 73.284  |
|          | T1K2W6    | 3 | 78.315 | 0.292   | 0.505 | 77.732  | 78.607  |
|          | T2K1W1    | 3 | 72.589 | 0.265   | 0.460 | 72.086  | 72.988  |
|          | T2K1W2    | 3 | 75.666 | 0.171   | 0.296 | 75.370  | 75.962  |
|          | T2K1W3    | 3 | 77.631 | 0.354   | 0.613 | 77.140  | 78.318  |
|          | T2K1W4    | 3 | 78.804 | 0.257   | 0.446 | 78.318  | 79.192  |
|          | T2K1W5    | 3 | 79.973 | 0.195   | 0.338 | 79.778  | 80.363  |
|          | T2K1W6    | 3 | 82.003 | 0.510   | 0.884 | 81.231  | 82.968  |
|          | T2K2W1    | 3 | 73.486 | 0.101   | 0.175 | 73.284  | 73.587  |
|          | T2K2W2    | 3 | 75.666 | 0.171   | 0.296 | 75.370  | 75.962  |
|          | T2K2W3    | 3 | 78.315 | 0.169   | 0.293 | 78.022  | 78.607  |
|          | T2K2W4    | 3 | 79.971 | 0.0965  | 0.167 | 79.778  | 80.067  |
|          | T2K2W5    | 3 | 82.968 | 0.167   | 0.289 | 82.678  | 83.257  |
|          | T2K2W6    | 3 | 86.687 | 0.285   | 0.493 | 86.117  | 86.972  |
|          | T3K1W1    | 3 | 76.649 | 0.353   | 0.611 | 75.962  | 77.133  |
|          | T3K1W2    | 3 | 78.120 | 0.426   | 0.738 | 77.436  | 78.903  |
|          | T3K1W3    | 3 | 79.874 | 0.193   | 0.334 | 79.489  | 80.067  |
|          | T3K1W4    | 3 | 81.714 | 0.0965  | 0.167 | 81.521  | 81.810  |
|          | T3K1W5    | 3 | 83.060 | 0.769   | 1.333 | 81.521  | 83.829  |
|          | T3K1W6    | 3 | 86.972 | 0.326   | 0.565 | 86.406  | 87.537  |
|          | T3K2W1    | 3 | 77.436 | 0.171   | 0.296 | 77.140  | 77.732  |
|          | T3K2W2    | 3 | 80.166 | 0.0987  | 0.171 | 80.067  | 80.363  |
|          | T3K2W3    | 3 | 81.907 | 0.193   | 0.334 | 81.521  | 82.100  |
|          | T3K2W4    | 3 | 84.406 | 0.165   | 0.286 | 84.118  | 84.690  |
|          | T3K2W5    | 3 | 86.783 | 0.249   | 0.432 | 86.406  | 87.254  |
|          | T3K2W6    | 3 | 91.012 | 0.338   | 0.585 | 90.357  | 91.480  |
|          | T4K1W1    | 3 | 80.556 | 0.193   | 0.334 | 80.363  | 80.942  |
|          | T4K1W2    | 3 | 83.354 | 0.0965  | 0.167 | 83.257  | 83.546  |
|          | T4K1W3    | 3 | 86.498 | 0.191   | 0.330 | 86.117  | 86.689  |
|          | T4K1W4    | 3 | 88.486 | 0.0942  | 0.163 | 88.392  | 88.674  |
|          | T4K1W5    | 3 | 89.515 | 0.163   | 0.283 | 89.233  | 89.798  |
|          | T4K1W6    | 3 | 92.871 | 0.161   | 0.279 | 92.591  | 93.149  |
|          | T4K2W1    | 3 | 81.521 | 0.501   | 0.868 | 80.653  | 82.389  |
|          | T4K2W2    | 3 | 85.074 | 0.343   | 0.595 | 84.408  | 85.552  |
|          | T4K2W3    | 3 | 86.404 | 0.165   | 0.286 | 86.117  | 86.689  |
|          | T4K2W4    | 3 | 88.580 | 0.0942  | 0.163 | 88.392  | 88.674  |
|          | T4K2W5    | 3 | 91.384 | 0.186   | 0.322 | 91.198  | 91.756  |
|          | T4K2W6    | 3 | 94.812 | 0.159   | 0.276 | 94.536  | 95.087  |

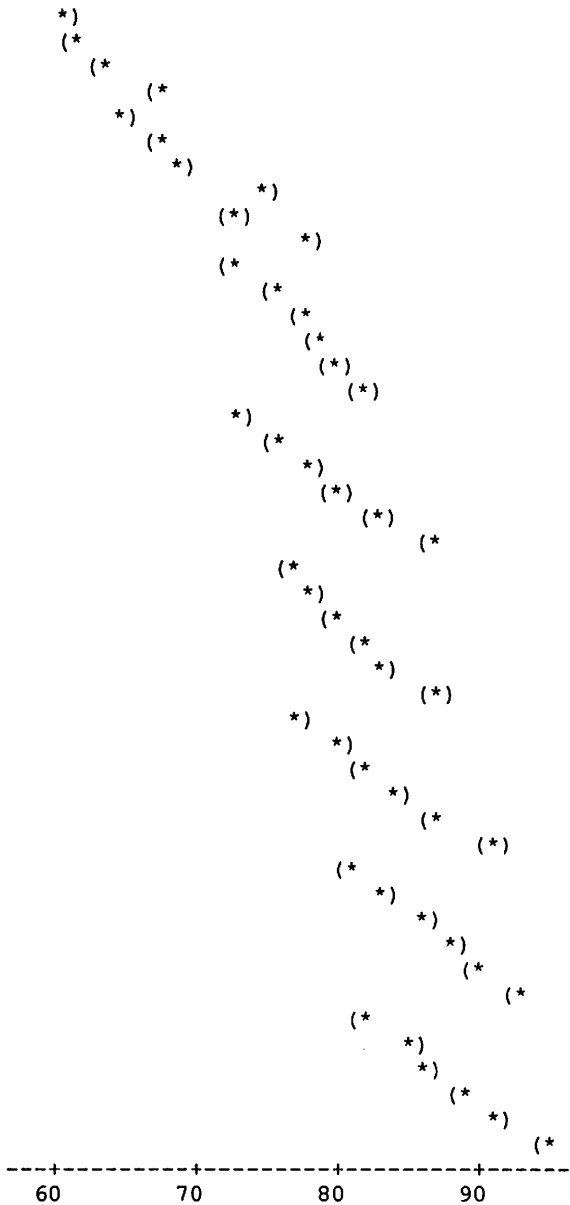
One-way ANOVA: %NITRAT versus PERLAKUAN

| Source    | DF  | SS       | MS     | F       | P     |
|-----------|-----|----------|--------|---------|-------|
| PERLAKUAN | 47  | 11465.62 | 243.95 | 1062.10 | 0.000 |
| Error     | 96  | 22.05    | 0.23   |         |       |
| Total     | 143 | 11487.67 |        |         |       |

S = 0.4793    R-Sq = 99.81%    R-Sq(adj) = 99.71%

|        |   |        |       | Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev |             |
|--------|---|--------|-------|---------------------------------------------------|-------------|
| Level  | N | Mean   | StDev | -----+-----                                       | -----+----- |
| T1K1W1 | 3 | 57.503 | 0.487 | (*                                                |             |
| T1K1W2 | 3 | 60.545 | 0.655 | (*                                                |             |

|        |   |        |       |
|--------|---|--------|-------|
| T1K1W3 | 3 | 61.171 | 0.476 |
| T1K1W4 | 3 | 61.795 | 0.783 |
| T1K1W5 | 3 | 63.863 | 0.310 |
| T1K1W6 | 3 | 67.550 | 0.303 |
| T1K2W1 | 3 | 65.305 | 0.776 |
| T1K2W2 | 3 | 67.550 | 0.303 |
| T1K2W3 | 3 | 69.475 | 0.175 |
| T1K2W4 | 3 | 75.173 | 0.342 |
| T1K2W5 | 3 | 72.988 | 0.296 |
| T1K2W6 | 3 | 78.315 | 0.505 |
| T2K1W1 | 3 | 72.589 | 0.460 |
| T2K1W2 | 3 | 75.666 | 0.296 |
| T2K1W3 | 3 | 77.631 | 0.613 |
| T2K1W4 | 3 | 78.804 | 0.446 |
| T2K1W5 | 3 | 79.973 | 0.338 |
| T2K1W6 | 3 | 82.003 | 0.884 |
| T2K2W1 | 3 | 73.486 | 0.175 |
| T2K2W2 | 3 | 75.666 | 0.296 |
| T2K2W3 | 3 | 78.315 | 0.293 |
| T2K2W4 | 3 | 79.971 | 0.167 |
| T2K2W5 | 3 | 82.968 | 0.289 |
| T2K2W6 | 3 | 86.687 | 0.493 |
| T3K1W1 | 3 | 76.649 | 0.611 |
| T3K1W2 | 3 | 78.120 | 0.738 |
| T3K1W3 | 3 | 79.874 | 0.334 |
| T3K1W4 | 3 | 81.714 | 0.167 |
| T3K1W5 | 3 | 83.060 | 1.333 |
| T3K1W6 | 3 | 86.972 | 0.565 |
| T3K2W1 | 3 | 77.436 | 0.296 |
| T3K2W2 | 3 | 80.166 | 0.171 |
| T3K2W3 | 3 | 81.907 | 0.334 |
| T3K2W4 | 3 | 84.406 | 0.286 |
| T3K2W5 | 3 | 86.783 | 0.432 |
| T3K2W6 | 3 | 91.012 | 0.585 |
| T4K1W1 | 3 | 80.556 | 0.334 |
| T4K1W2 | 3 | 83.354 | 0.167 |
| T4K1W3 | 3 | 86.498 | 0.330 |
| T4K1W4 | 3 | 88.486 | 0.163 |
| T4K1W5 | 3 | 89.515 | 0.283 |
| T4K1W6 | 3 | 92.871 | 0.279 |
| T4K2W1 | 3 | 81.521 | 0.868 |
| T4K2W2 | 3 | 85.074 | 0.595 |
| T4K2W3 | 3 | 86.404 | 0.286 |
| T4K2W4 | 3 | 88.580 | 0.163 |
| T4K2W5 | 3 | 91.384 | 0.322 |
| T4K2W6 | 3 | 94.812 | 0.276 |



Pooled StDev = 0.479

Correlations: TEKANAN, WAKTU OPERASI, KETEBALAN, %NITRAT

|              | TEKANAN         | WAKTU OPERAS   | KETEBALAN      |
|--------------|-----------------|----------------|----------------|
| WAKTU OPERAS | -0.000<br>1.000 |                |                |
| KETEBALAN    | 0.000<br>1.000  | 0.000<br>1.000 |                |
| %NITRAT      | 0.867<br>0.000  | 0.861<br>0.000 | 0.657<br>0.013 |

Cell Contents: Pearson correlation  
P-Value

Regression Analysis: %NITRAT versus TEKANAN, WAKTU OPERASI, KETEBALA  
N

Weighted analysis using weights in %NITRAT

The regression equation is  
 $\%NITRAT = 56.4 + 6.97 \text{ TEKANAN} + 0.226 \text{ WAKTU OPERASI} + 1.67 \text{ KETEBALAN}$

| Predictor     | Coef    | SE Coef | T     | P     | VIF |
|---------------|---------|---------|-------|-------|-----|
| Constant      | 56.417  | 1.034   | 54.56 | 0.000 |     |
| TEKANAN       | 6.9721  | 0.3017  | 23.11 | 0.000 | 1.0 |
| WAKTU OPERASI | 0.22592 | 0.01694 | 13.33 | 0.000 | 1.0 |
| KETEBALAN     | 1.6669  | 0.2894  | 5.76  | 0.000 | 1.0 |

S = 30.8149    R-Sq = 84.1%    R-Sq(adj) = 83.8%

Analysis of Variance

| Source         | DF  | SS     | MS     | F      | P     |
|----------------|-----|--------|--------|--------|-------|
| Regression     | 3   | 702842 | 234281 | 246.73 | 0.000 |
| Residual Error | 140 | 132938 | 950    |        |       |
| Total          | 143 | 835779 |        |        |       |

| Source        | DF | Seq SS |
|---------------|----|--------|
| TEKANAN       | 1  | 501776 |
| WAKTU OPERASI | 1  | 169565 |
| KETEBALAN     | 1  | 31501  |

E.Coli

Descriptive Statistics: % E.Coli

| Variable | PERLAKUAN | N | Mean   | SE Mean | StDev  | Minimum | Maximum |
|----------|-----------|---|--------|---------|--------|---------|---------|
| % E.Coli | T1K1W1    | 3 | 91.410 | 0.128   | 0.222  | 91.154  | 91.538  |
|          | T1K1W2    | 3 | 92.949 | 0.128   | 0.222  | 92.692  | 93.077  |
|          | T1K1W3    | 3 | 93.718 | 0.128   | 0.222  | 93.462  | 93.846  |
|          | T1K1W4    | 3 | 94.487 | 0.128   | 0.222  | 94.231  | 94.615  |
|          | T1K1W5    | 3 | 95.128 | 0.128   | 0.222  | 95.000  | 95.385  |
|          | T1K1W6    | 3 | 95.256 | 0.256   | 0.444  | 95.000  | 95.769  |
|          | T1K2W1    | 3 | 93.974 | 0.128   | 0.222  | 93.846  | 94.231  |
|          | T1K2W2    | 3 | 94.872 | 0.128   | 0.222  | 94.615  | 95.000  |
|          | T1K2W3    | 3 | 96.026 | 0.128   | 0.222  | 95.769  | 96.154  |
|          | T1K2W4    | 3 | 96.795 | 0.128   | 0.222  | 96.538  | 96.923  |
|          | T1K2W5    | 3 | 97.564 | 0.128   | 0.222  | 97.308  | 97.692  |
|          | T1K2W6    | 3 | 98.333 | 0.128   | 0.222  | 98.077  | 98.462  |
|          | T2K1W1    | 3 | 93.333 | 0.128   | 0.222  | 93.077  | 93.462  |
|          | T2K1W2    | 3 | 94.487 | 0.128   | 0.222  | 94.231  | 94.615  |
|          | T2K1W3    | 3 | 95.359 | 0.0256  | 0.0444 | 95.308  | 95.385  |
|          | T2K1W4    | 3 | 95.897 | 0.128   | 0.222  | 95.769  | 96.154  |
|          | T2K1W5    | 3 | 96.795 | 0.128   | 0.222  | 96.538  | 96.923  |
|          | T2K1W6    | 3 | 97.564 | 0.128   | 0.222  | 97.308  | 97.692  |
|          | T2K2W1    | 3 | 96.000 | 0.118   | 0.204  | 95.769  | 96.154  |
|          | T2K2W2    | 3 | 96.282 | 0.128   | 0.222  | 96.154  | 96.538  |
|          | T2K2W3    | 3 | 96.821 | 0.103   | 0.178  | 96.615  | 96.923  |
|          | T2K2W4    | 3 | 97.462 | 0.118   | 0.204  | 97.308  | 97.692  |
|          | T2K2W5    | 3 | 98.205 | 0.128   | 0.222  | 98.077  | 98.462  |
|          | T2K2W6    | 3 | 99.103 | 0.128   | 0.222  | 98.846  | 99.231  |
|          | T3K1W1    | 3 | 95.256 | 0.128   | 0.222  | 95.000  | 95.385  |
|          | T3K1W2    | 3 | 95.692 | 0.0769  | 0.133  | 95.538  | 95.769  |
|          | T3K1W3    | 3 | 96.795 | 0.128   | 0.222  | 96.538  | 96.923  |
|          | T3K1W4    | 3 | 97.256 | 0.0513  | 0.0888 | 97.154  | 97.308  |
|          | T3K1W5    | 3 | 98.333 | 0.128   | 0.222  | 98.077  | 98.462  |
|          | T3K1W6    | 3 | 98.974 | 0.128   | 0.222  | 98.846  | 99.231  |
|          | T3K2W1    | 3 | 96.872 | 0.0513  | 0.0888 | 96.769  | 96.923  |
|          | T3K2W2    | 3 | 97.436 | 0.128   | 0.222  | 97.308  | 97.692  |
|          | T3K2W3    | 3 | 98.077 | 0.222   | 0.385  | 97.692  | 98.462  |
|          | T3K2W4    | 3 | 98.333 | 0.128   | 0.222  | 98.077  | 98.462  |
|          | T3K2W5    | 3 | 99.103 | 0.128   | 0.222  | 98.846  | 99.231  |
|          | T3K2W6    | 3 | 99.718 | 0.103   | 0.178  | 99.615  | 99.923  |
|          | T4K1W1    | 3 | 96.667 | 0.128   | 0.222  | 96.538  | 96.923  |
|          | T4K1W2    | 3 | 97.205 | 0.103   | 0.178  | 97.000  | 97.308  |
|          | T4K1W3    | 3 | 97.821 | 0.128   | 0.222  | 97.692  | 98.077  |
|          | T4K1W4    | 3 | 98.590 | 0.128   | 0.222  | 98.462  | 98.846  |
|          | T4K1W5    | 3 | 99.103 | 0.128   | 0.222  | 98.846  | 99.231  |
|          | T4K1W6    | 3 | 99.667 | 0.0513  | 0.0888 | 99.615  | 99.769  |
|          | T4K2W1    | 3 | 97.436 | 0.128   | 0.222  | 97.308  | 97.692  |
|          | T4K2W2    | 3 | 98.231 | 0.118   | 0.204  | 98.077  | 98.462  |
|          | T4K2W3    | 3 | 98.590 | 0.128   | 0.222  | 98.462  | 98.846  |
|          | T4K2W4    | 3 | 98.974 | 0.128   | 0.222  | 98.846  | 99.231  |
|          | T4K2W5    | 3 | 99.487 | 0.128   | 0.222  | 99.231  | 99.615  |
|          | T4K2W6    | 3 | 99.949 | 0.0256  | 0.0444 | 99.923  | 100.000 |

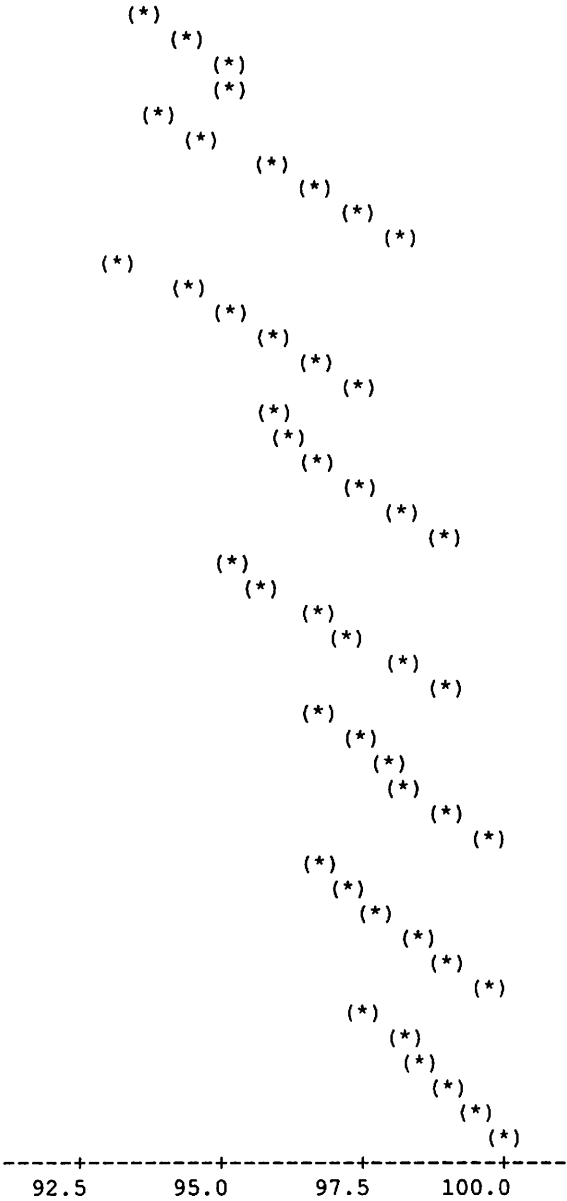
One-way ANOVA: % E.Coli versus PERLAKUAN

| Source    | DF  | SS       | MS      | F      | P     |
|-----------|-----|----------|---------|--------|-------|
| PERLAKUAN | 47  | 547.9783 | 11.6591 | 244.81 | 0.000 |
| Error     | 96  | 4.5720   | 0.0476  |        |       |
| Total     | 143 | 552.5503 |         |        |       |

S = 0.2182    R-Sq = 99.17%    R-Sq(adj) = 98.77%

|        |   |        |       | Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev |  |
|--------|---|--------|-------|---------------------------------------------------|--|
| Level  | N | Mean   | StDev | -----+-----+-----+-----+-----+-----+-----         |  |
| T1K1W1 | 3 | 91.410 | 0.222 | (*)                                               |  |
| T1K1W2 | 3 | 92.949 | 0.222 | (*)                                               |  |

|        |   |        |       |
|--------|---|--------|-------|
| T1K1W3 | 3 | 93.718 | 0.222 |
| T1K1W4 | 3 | 94.487 | 0.222 |
| T1K1W5 | 3 | 95.128 | 0.222 |
| T1K1W6 | 3 | 95.256 | 0.444 |
| T1K2W1 | 3 | 93.974 | 0.222 |
| T1K2W2 | 3 | 94.872 | 0.222 |
| T1K2W3 | 3 | 96.026 | 0.222 |
| T1K2W4 | 3 | 96.795 | 0.222 |
| T1K2W5 | 3 | 97.564 | 0.222 |
| T1K2W6 | 3 | 98.333 | 0.222 |
| T2K1W1 | 3 | 93.333 | 0.222 |
| T2K1W2 | 3 | 94.487 | 0.222 |
| T2K1W3 | 3 | 95.359 | 0.044 |
| T2K1W4 | 3 | 95.897 | 0.222 |
| T2K1W5 | 3 | 96.795 | 0.222 |
| T2K1W6 | 3 | 97.564 | 0.222 |
| T2K2W1 | 3 | 96.000 | 0.204 |
| T2K2W2 | 3 | 96.282 | 0.222 |
| T2K2W3 | 3 | 96.821 | 0.178 |
| T2K2W4 | 3 | 97.462 | 0.204 |
| T2K2W5 | 3 | 98.205 | 0.222 |
| T2K2W6 | 3 | 99.103 | 0.222 |
| T3K1W1 | 3 | 95.256 | 0.222 |
| T3K1W2 | 3 | 95.692 | 0.133 |
| T3K1W3 | 3 | 96.795 | 0.222 |
| T3K1W4 | 3 | 97.256 | 0.089 |
| T3K1W5 | 3 | 98.333 | 0.222 |
| T3K1W6 | 3 | 98.974 | 0.222 |
| T3K2W1 | 3 | 96.872 | 0.089 |
| T3K2W2 | 3 | 97.436 | 0.222 |
| T3K2W3 | 3 | 98.077 | 0.385 |
| T3K2W4 | 3 | 98.333 | 0.222 |
| T3K2W5 | 3 | 99.103 | 0.222 |
| T3K2W6 | 3 | 99.718 | 0.178 |
| T4K1W1 | 3 | 96.667 | 0.222 |
| T4K1W2 | 3 | 97.205 | 0.178 |
| T4K1W3 | 3 | 97.821 | 0.222 |
| T4K1W4 | 3 | 98.590 | 0.222 |
| T4K1W5 | 3 | 99.103 | 0.222 |
| T4K1W6 | 3 | 99.667 | 0.089 |
| T4K2W1 | 3 | 97.436 | 0.222 |
| T4K2W2 | 3 | 98.231 | 0.204 |
| T4K2W3 | 3 | 98.590 | 0.222 |
| T4K2W4 | 3 | 98.974 | 0.222 |
| T4K2W5 | 3 | 99.487 | 0.222 |
| T4K2W6 | 3 | 99.949 | 0.044 |



Pooled StDev = 0.218

**Correlations: TEKAMAN, WAKTU OPERASI, KETEBALAN, % E.Coli**

|              | TEKANAN         | WAKTU OPERASI  | KETEBALAN      |
|--------------|-----------------|----------------|----------------|
| WAKTU OPERAS | -0.000<br>1.000 |                |                |
| KETEBALAN    | 0.000<br>1.000  | 0.000<br>1.000 |                |
| % E.Coli     | 0.807<br>0.000  | 0.834<br>0.000 | 0.808<br>0.015 |

Cell Contents: Pearson correlation  
P-Value

**Regression Analysis: % E.Coli versus TEKAMAN, WAKTU OPERASI, KETEBALAN**

Weighted analysis using weights in % E.Coli

The regression equation is

$$\% \text{ E.Coli} = 90.9 + 1.30 \text{ TEKANAN} + 0.0685 \text{ WAKTU OPERASI} + 0.742 \text{ KETEBALAN}$$

| Predictor     | Coef     | SE Coef  | T      | P     | VIF |
|---------------|----------|----------|--------|-------|-----|
| Constant      | 90.9115  | 0.1672   | 543.70 | 0.000 |     |
| TEKANAN       | 1.30062  | 0.04976  | 26.14  | 0.000 | 1.0 |
| WAKTU OPERASI | 0.068516 | 0.002800 | 24.47  | 0.000 | 1.0 |
| KETEBALAN     | 0.74213  | 0.04781  | 15.52  | 0.000 | 1.0 |

S = 5.64726    R-Sq = 91.6%    R-Sq(adj) = 91.4%

#### Analysis of Variance

| Source         | DF  | SS    | MS    | F      | P     |
|----------------|-----|-------|-------|--------|-------|
| Regression     | 3   | 48380 | 16127 | 505.67 | 0.000 |
| Residual Error | 140 | 4465  | 32    |        |       |
| Total          | 143 | 52845 |       |        |       |

| Source        | DF | Seq SS |
|---------------|----|--------|
| TEKANAN       | 1  | 21624  |
| WAKTU OPERASI | 1  | 19072  |
| KETEBALAN     | 1  | 7685   |

**LAMPIRAN 5**

**TABEL F DAN TABEL T**

**Tabel F ( $\alpha$  5%)**

| <b>df</b> | <b>Df 1</b> | <b>Df 2</b> | <b>Df 3</b> | <b>Df 4</b> | <b>Df 5</b> |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>1</b>  | 161.45      | 199.50      | 215.71      | 224.58      | 230.16      |
| <b>2</b>  | 18.51       | 19.00       | 19.16       | 19.25       | 19.30       |
| <b>3</b>  | 10.13       | 9.55        | 9.28        | 9.12        | 9.01        |
| <b>4</b>  | 7.71        | 6.94        | 6.59        | 6.39        | 6.26        |
| <b>5</b>  | 6.61        | 5.79        | 5.41        | 5.19        | 5.05        |
| <b>6</b>  | 5.99        | 5.14        | 4.76        | 4.53        | 4.39        |
| <b>7</b>  | 5.59        | 4.74        | 4.35        | 4.12        | 3.97        |
| <b>8</b>  | 5.32        | 4.46        | 4.07        | 3.84        | 3.69        |
| <b>9</b>  | 5.12        | 4.26        | 3.86        | 3.63        | 3.48        |
| <b>10</b> | 4.96        | 4.10        | 3.71        | 3.48        | 3.33        |
| <b>11</b> | 4.84        | 3.98        | 3.59        | 3.36        | 3.20        |
| <b>12</b> | 4.75        | 3.89        | 3.49        | 3.26        | 3.11        |
| <b>13</b> | 4.67        | 3.81        | 3.41        | 3.18        | 3.03        |
| <b>14</b> | 4.60        | 3.74        | 3.34        | 3.11        | 2.96        |
| <b>15</b> | 4.54        | 3.68        | 3.29        | 3.06        | 2.90        |
| <b>16</b> | 4.49        | 3.63        | 3.24        | 3.01        | 2.85        |
| <b>17</b> | 4.45        | 3.59        | 3.20        | 2.96        | 2.81        |
| <b>18</b> | 4.41        | 3.55        | 3.16        | 2.93        | 2.77        |
| <b>19</b> | 4.38        | 3.52        | 3.13        | 2.90        | 2.74        |
| <b>20</b> | 4.35        | 3.49        | 3.10        | 2.87        | 2.71        |
| <b>21</b> | 4.32        | 3.47        | 3.07        | 2.84        | 2.68        |
| <b>22</b> | 4.30        | 3.44        | 3.05        | 2.82        | 2.66        |
| <b>23</b> | 4.28        | 3.42        | 3.03        | 2.80        | 2.64        |
| <b>24</b> | 4.26        | 3.40        | 3.01        | 2.78        | 2.62        |
| <b>25</b> | 4.24        | 3.39        | 2.99        | 2.76        | 2.60        |
| <b>26</b> | 4.23        | 3.37        | 2.98        | 2.74        | 2.59        |
| <b>27</b> | 4.21        | 3.35        | 2.96        | 2.73        | 2.57        |
| <b>28</b> | 4.20        | 3.34        | 2.95        | 2.71        | 2.56        |
| <b>29</b> | 4.18        | 3.33        | 2.93        | 2.70        | 2.55        |
| <b>30</b> | 4.17        | 3.32        | 2.92        | 2.69        | 2.53        |
| <b>31</b> | 4.16        | 3.30        | 2.91        | 2.68        | 2.52        |
| <b>32</b> | 4.15        | 3.29        | 2.90        | 2.67        | 2.51        |
| <b>33</b> | 4.14        | 3.28        | 2.89        | 2.66        | 2.50        |
| <b>34</b> | 4.13        | 3.28        | 2.88        | 2.65        | 2.49        |
| <b>35</b> | 4.12        | 3.27        | 2.87        | 2.64        | 2.49        |
| <b>36</b> | 4.11        | 3.26        | 2.87        | 2.63        | 2.48        |
| <b>37</b> | 4.11        | 3.25        | 2.86        | 2.63        | 2.47        |
| <b>38</b> | 4.10        | 3.24        | 2.85        | 2.62        | 2.46        |
| <b>39</b> | 4.09        | 3.24        | 2.85        | 2.61        | 2.46        |
| <b>40</b> | 4.08        | 3.23        | 2.84        | 2.61        | 2.45        |
| <b>41</b> | 4.08        | 3.23        | 2.83        | 2.60        | 2.44        |
| <b>42</b> | 4.07        | 3.22        | 2.83        | 2.59        | 2.44        |
| <b>43</b> | 4.07        | 3.21        | 2.82        | 2.59        | 2.43        |
| <b>44</b> | 4.06        | 3.21        | 2.82        | 2.58        | 2.43        |
| <b>45</b> | 4.06        | 3.20        | 2.81        | 2.58        | 2.42        |
| <b>46</b> | 4.05        | 3.20        | 2.81        | 2.57        | 2.42        |
| <b>47</b> | 4.05        | 3.20        | 2.80        | 2.57        | 2.41        |
| <b>48</b> | 4.04        | 3.19        | 2.80        | 2.57        | 2.41        |
| <b>49</b> | 4.04        | 3.19        | 2.79        | 2.56        | 2.40        |
| <b>50</b> | 4.03        | 3.18        | 2.79        | 2.56        | 2.40        |
| <b>51</b> | 4.03        | 3.18        | 2.79        | 2.55        | 2.40        |
| <b>52</b> | 4.03        | 3.18        | 2.78        | 2.55        | 2.39        |
| <b>53</b> | 4.02        | 3.17        | 2.78        | 2.55        | 2.39        |

|     |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|
| 54  | 4.02 | 3.17 | 2.78 | 2.54 | 2.39 |
| 55  | 4.02 | 3.16 | 2.77 | 2.54 | 2.38 |
| 56  | 4.01 | 3.16 | 2.77 | 2.54 | 2.38 |
| 57  | 4.01 | 3.16 | 2.77 | 2.53 | 2.38 |
| 58  | 4.01 | 3.16 | 2.76 | 2.53 | 2.37 |
| 59  | 4.00 | 3.15 | 2.76 | 2.53 | 2.37 |
| 60  | 4.00 | 3.15 | 2.76 | 2.53 | 2.37 |
| 61  | 4.00 | 3.15 | 2.76 | 2.52 | 2.37 |
| 62  | 4.00 | 3.15 | 2.75 | 2.52 | 2.36 |
| 63  | 3.99 | 3.14 | 2.75 | 2.52 | 2.36 |
| 64  | 3.99 | 3.14 | 2.75 | 2.52 | 2.36 |
| 65  | 3.99 | 3.14 | 2.75 | 2.51 | 2.36 |
| 66  | 3.99 | 3.14 | 2.74 | 2.51 | 2.35 |
| 67  | 3.98 | 3.13 | 2.74 | 2.51 | 2.35 |
| 68  | 3.98 | 3.13 | 2.74 | 2.51 | 2.35 |
| 69  | 3.98 | 3.13 | 2.74 | 2.50 | 2.35 |
| 70  | 3.98 | 3.13 | 2.74 | 2.50 | 2.35 |
| 71  | 3.98 | 3.13 | 2.73 | 2.50 | 2.34 |
| 72  | 3.97 | 3.12 | 2.73 | 2.50 | 2.34 |
| 73  | 3.97 | 3.12 | 2.73 | 2.50 | 2.34 |
| 74  | 3.97 | 3.12 | 2.73 | 2.50 | 2.34 |
| 75  | 3.97 | 3.12 | 2.73 | 2.49 | 2.34 |
| 76  | 3.97 | 3.12 | 2.72 | 2.49 | 2.33 |
| 77  | 3.97 | 3.12 | 2.72 | 2.49 | 2.33 |
| 78  | 3.96 | 3.11 | 2.72 | 2.49 | 2.33 |
| 79  | 3.96 | 3.11 | 2.72 | 2.49 | 2.33 |
| 80  | 3.96 | 3.11 | 2.72 | 2.49 | 2.33 |
| 81  | 3.96 | 3.11 | 2.72 | 2.48 | 2.33 |
| 82  | 3.96 | 3.11 | 2.72 | 2.48 | 2.33 |
| 83  | 3.96 | 3.11 | 2.71 | 2.48 | 2.32 |
| 84  | 3.95 | 3.11 | 2.71 | 2.48 | 2.32 |
| 85  | 3.95 | 3.10 | 2.71 | 2.48 | 2.32 |
| 86  | 3.95 | 3.10 | 2.71 | 2.48 | 2.32 |
| 87  | 3.95 | 3.10 | 2.71 | 2.48 | 2.32 |
| 88  | 3.95 | 3.10 | 2.71 | 2.48 | 2.32 |
| 89  | 3.95 | 3.10 | 2.71 | 2.47 | 2.32 |
| 90  | 3.95 | 3.10 | 2.71 | 2.47 | 2.32 |
| 91  | 3.95 | 3.10 | 2.70 | 2.47 | 2.31 |
| 92  | 3.94 | 3.10 | 2.70 | 2.47 | 2.31 |
| 93  | 3.94 | 3.09 | 2.70 | 2.47 | 2.31 |
| 94  | 3.94 | 3.09 | 2.70 | 2.47 | 2.31 |
| 95  | 3.94 | 3.09 | 2.70 | 2.47 | 2.31 |
| 96  | 3.94 | 3.09 | 2.70 | 2.47 | 2.31 |
| 97  | 3.94 | 3.09 | 2.70 | 2.47 | 2.31 |
| 98  | 3.94 | 3.09 | 2.70 | 2.46 | 2.31 |
| 99  | 3.94 | 3.09 | 2.70 | 2.46 | 2.31 |
| 100 | 3.94 | 3.09 | 2.70 | 2.46 | 2.31 |
| 101 | 3.94 | 3.09 | 2.69 | 2.46 | 2.30 |
| 102 | 3.93 | 3.09 | 2.69 | 2.46 | 2.30 |
| 103 | 3.93 | 3.08 | 2.69 | 2.46 | 2.30 |
| 104 | 3.93 | 3.08 | 2.69 | 2.46 | 2.30 |
| 105 | 3.93 | 3.08 | 2.69 | 2.46 | 2.30 |
| 106 | 3.93 | 3.08 | 2.69 | 2.46 | 2.30 |
| 107 | 3.93 | 3.08 | 2.69 | 2.46 | 2.30 |
| 108 | 3.93 | 3.08 | 2.69 | 2.46 | 2.30 |

|     |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|
| 109 | 3.93 | 3.08 | 2.69 | 2.45 | 2.30 |
| 110 | 3.93 | 3.08 | 2.69 | 2.45 | 2.30 |
| 111 | 3.93 | 3.08 | 2.69 | 2.45 | 2.30 |
| 112 | 3.93 | 3.08 | 2.69 | 2.45 | 2.30 |
| 113 | 3.93 | 3.08 | 2.68 | 2.45 | 2.29 |
| 114 | 3.92 | 3.08 | 2.68 | 2.45 | 2.29 |
| 115 | 3.92 | 3.08 | 2.68 | 2.45 | 2.29 |
| 116 | 3.92 | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 |
| 117 | 3.92 | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 |
| 118 | 3.92 | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 |
| 119 | 3.92 | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 |
| 120 | 3.92 | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 |
| 121 | 3.92 | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 |
| 122 | 3.92 | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 |
| 123 | 3.92 | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 |
| 124 | 3.92 | 3.07 | 2.68 | 2.44 | 2.29 |
| 125 | 3.92 | 3.07 | 2.68 | 2.44 | 2.29 |
| 126 | 3.92 | 3.07 | 2.68 | 2.44 | 2.29 |
| 127 | 3.92 | 3.07 | 2.68 | 2.44 | 2.29 |
| 128 | 3.92 | 3.07 | 2.68 | 2.44 | 2.29 |
| 129 | 3.91 | 3.07 | 2.67 | 2.44 | 2.28 |
| 130 | 3.91 | 3.07 | 2.67 | 2.44 | 2.28 |
| 131 | 3.91 | 3.07 | 2.67 | 2.44 | 2.28 |
| 132 | 3.91 | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 |
| 133 | 3.91 | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 |
| 134 | 3.91 | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 |
| 135 | 3.91 | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 |
| 136 | 3.91 | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 |
| 137 | 3.91 | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 |
| 138 | 3.91 | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 |
| 139 | 3.91 | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 |
| 140 | 3.91 | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 |
| 141 | 3.91 | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 |
| 142 | 3.91 | 3.06 | 2.67 | 2.44 | 2.28 |
| 143 | 3.91 | 3.06 | 2.67 | 2.43 | 2.28 |
| 144 | 3.91 | 3.06 | 2.67 | 2.43 | 2.28 |
| 145 | 3.91 | 3.06 | 2.67 | 2.43 | 2.28 |
| 146 | 3.91 | 3.06 | 2.67 | 2.43 | 2.28 |
| 147 | 3.91 | 3.06 | 2.67 | 2.43 | 2.28 |
| 148 | 3.91 | 3.06 | 2.67 | 2.43 | 2.28 |
| 149 | 3.90 | 3.06 | 2.67 | 2.43 | 2.27 |
| 150 | 3.90 | 3.06 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |
| 151 | 3.90 | 3.06 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |
| 152 | 3.90 | 3.06 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |
| 153 | 3.90 | 3.06 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |
| 154 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |
| 155 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |
| 156 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |
| 157 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |
| 158 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |
| 159 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |
| 160 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |
| 161 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |
| 162 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |
| 163 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |

|     |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|
| 164 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |
| 165 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |
| 166 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |
| 167 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |
| 168 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.43 | 2.27 |
| 169 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.27 |
| 170 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.27 |
| 171 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.27 |
| 172 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.27 |
| 173 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.27 |
| 174 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.27 |
| 175 | 3.90 | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.27 |
| 176 | 3.89 | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.27 |
| 177 | 3.89 | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.27 |
| 178 | 3.89 | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.26 |
| 179 | 3.89 | 3.05 | 2.66 | 2.42 | 2.26 |
| 180 | 3.89 | 3.05 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 181 | 3.89 | 3.05 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 182 | 3.89 | 3.05 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 183 | 3.89 | 3.05 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 184 | 3.89 | 3.05 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 185 | 3.89 | 3.04 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 186 | 3.89 | 3.04 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 187 | 3.89 | 3.04 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 188 | 3.89 | 3.04 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 189 | 3.89 | 3.04 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 190 | 3.89 | 3.04 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 191 | 3.89 | 3.04 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 192 | 3.89 | 3.04 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 193 | 3.89 | 3.04 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 194 | 3.89 | 3.04 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 195 | 3.89 | 3.04 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 196 | 3.89 | 3.04 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 197 | 3.89 | 3.04 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 198 | 3.89 | 3.04 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 199 | 3.89 | 3.04 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |
| 200 | 3.89 | 3.04 | 2.65 | 2.42 | 2.26 |

Tabel T

| df | $\alpha = 0,05$ | $\alpha = 0,025$ | df  | $\alpha = 0,05$ | $\alpha = 0,025$ |
|----|-----------------|------------------|-----|-----------------|------------------|
| 1  | 6.314           | 12.706           | 101 | 1.660           | 1.984            |
| 2  | 2.920           | 4.303            | 102 | 1.660           | 1.983            |
| 3  | 2.353           | 3.182            | 103 | 1.660           | 1.983            |
| 4  | 2.132           | 2.776            | 104 | 1.660           | 1.983            |
| 5  | 2.015           | 2.571            | 105 | 1.659           | 1.983            |
| 6  | 1.943           | 2.447            | 106 | 1.659           | 1.983            |
| 7  | 1.895           | 2.365            | 107 | 1.659           | 1.982            |
| 8  | 1.860           | 2.306            | 108 | 1.659           | 1.982            |
| 9  | 1.833           | 2.262            | 109 | 1.659           | 1.982            |
| 10 | 1.812           | 2.228            | 110 | 1.659           | 1.982            |
| 11 | 1.796           | 2.201            | 111 | 1.659           | 1.982            |
| 12 | 1.782           | 2.179            | 112 | 1.659           | 1.981            |
| 13 | 1.771           | 2.160            | 113 | 1.658           | 1.981            |
| 14 | 1.761           | 2.145            | 114 | 1.658           | 1.981            |
| 15 | 1.753           | 2.131            | 115 | 1.658           | 1.981            |
| 16 | 1.746           | 2.120            | 116 | 1.658           | 1.981            |
| 17 | 1.740           | 2.110            | 117 | 1.658           | 1.980            |
| 18 | 1.734           | 2.101            | 118 | 1.658           | 1.980            |
| 19 | 1.729           | 2.093            | 119 | 1.658           | 1.980            |
| 20 | 1.725           | 2.086            | 120 | 1.658           | 1.980            |
| 21 | 1.721           | 2.080            | 121 | 1.658           | 1.980            |
| 22 | 1.717           | 2.074            | 122 | 1.657           | 1.980            |
| 23 | 1.714           | 2.069            | 123 | 1.657           | 1.979            |
| 24 | 1.711           | 2.064            | 124 | 1.657           | 1.979            |
| 25 | 1.708           | 2.060            | 125 | 1.657           | 1.979            |
| 26 | 1.706           | 2.056            | 126 | 1.657           | 1.979            |
| 27 | 1.703           | 2.052            | 127 | 1.657           | 1.979            |
| 28 | 1.701           | 2.048            | 128 | 1.657           | 1.979            |
| 29 | 1.699           | 2.045            | 129 | 1.657           | 1.979            |
| 30 | 1.697           | 2.042            | 130 | 1.657           | 1.978            |
| 31 | 1.696           | 2.040            | 131 | 1.657           | 1.978            |
| 32 | 1.694           | 2.037            | 132 | 1.656           | 1.978            |
| 33 | 1.692           | 2.035            | 133 | 1.656           | 1.978            |
| 34 | 1.691           | 2.032            | 134 | 1.656           | 1.978            |
| 35 | 1.690           | 2.030            | 135 | 1.656           | 1.978            |
| 36 | 1.688           | 2.028            | 136 | 1.656           | 1.978            |
| 37 | 1.687           | 2.026            | 137 | 1.656           | 1.977            |
| 38 | 1.686           | 2.024            | 138 | 1.656           | 1.977            |
| 39 | 1.685           | 2.023            | 139 | 1.656           | 1.977            |
| 40 | 1.684           | 2.021            | 140 | 1.656           | 1.977            |
| 41 | 1.683           | 2.020            | 141 | 1.656           | 1.977            |
| 42 | 1.682           | 2.018            | 142 | 1.656           | 1.977            |
| 43 | 1.681           | 2.017            | 143 | 1.656           | 1.977            |
| 44 | 1.680           | 2.015            | 144 | 1.656           | 1.977            |
| 45 | 1.679           | 2.014            | 145 | 1.655           | 1.976            |
| 46 | 1.679           | 2.013            | 146 | 1.655           | 1.976            |
| 47 | 1.678           | 2.012            | 147 | 1.655           | 1.976            |
| 48 | 1.677           | 2.011            | 148 | 1.655           | 1.976            |
| 49 | 1.677           | 2.010            | 149 | 1.655           | 1.976            |
| 50 | 1.676           | 2.009            | 150 | 1.655           | 1.976            |
| 51 | 1.675           | 2.008            | 151 | 1.655           | 1.976            |
| 52 | 1.675           | 2.007            | 152 | 1.655           | 1.976            |
| 53 | 1.674           | 2.006            | 153 | 1.655           | 1.976            |

|     |       |       |     |       |       |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| 54  | 1.674 | 2.005 | 154 | 1.655 | 1.975 |
| 55  | 1.673 | 2.004 | 155 | 1.655 | 1.975 |
| 56  | 1.673 | 2.003 | 156 | 1.655 | 1.975 |
| 57  | 1.672 | 2.002 | 157 | 1.655 | 1.975 |
| 58  | 1.672 | 2.002 | 158 | 1.655 | 1.975 |
| 59  | 1.671 | 2.001 | 159 | 1.654 | 1.975 |
| 60  | 1.671 | 2.000 | 160 | 1.654 | 1.975 |
| 61  | 1.670 | 2.000 | 161 | 1.654 | 1.975 |
| 62  | 1.670 | 1.999 | 162 | 1.654 | 1.975 |
| 63  | 1.669 | 1.998 | 163 | 1.654 | 1.975 |
| 64  | 1.669 | 1.998 | 164 | 1.654 | 1.975 |
| 65  | 1.669 | 1.997 | 165 | 1.654 | 1.974 |
| 66  | 1.668 | 1.997 | 166 | 1.654 | 1.974 |
| 67  | 1.668 | 1.996 | 167 | 1.654 | 1.974 |
| 68  | 1.668 | 1.995 | 168 | 1.654 | 1.974 |
| 69  | 1.667 | 1.995 | 169 | 1.654 | 1.974 |
| 70  | 1.667 | 1.994 | 170 | 1.654 | 1.974 |
| 71  | 1.667 | 1.994 | 171 | 1.654 | 1.974 |
| 72  | 1.666 | 1.993 | 172 | 1.654 | 1.974 |
| 73  | 1.666 | 1.993 | 173 | 1.654 | 1.974 |
| 74  | 1.666 | 1.993 | 174 | 1.654 | 1.974 |
| 75  | 1.665 | 1.992 | 175 | 1.654 | 1.974 |
| 76  | 1.665 | 1.992 | 176 | 1.654 | 1.974 |
| 77  | 1.665 | 1.991 | 177 | 1.654 | 1.973 |
| 78  | 1.665 | 1.991 | 178 | 1.653 | 1.973 |
| 79  | 1.664 | 1.990 | 179 | 1.653 | 1.973 |
| 80  | 1.664 | 1.990 | 180 | 1.653 | 1.973 |
| 81  | 1.664 | 1.990 | 181 | 1.653 | 1.973 |
| 82  | 1.664 | 1.989 | 182 | 1.653 | 1.973 |
| 83  | 1.663 | 1.989 | 183 | 1.653 | 1.973 |
| 84  | 1.663 | 1.989 | 184 | 1.653 | 1.973 |
| 85  | 1.663 | 1.988 | 185 | 1.653 | 1.973 |
| 86  | 1.663 | 1.988 | 186 | 1.653 | 1.973 |
| 87  | 1.663 | 1.988 | 187 | 1.653 | 1.973 |
| 88  | 1.662 | 1.987 | 188 | 1.653 | 1.973 |
| 89  | 1.662 | 1.987 | 189 | 1.653 | 1.973 |
| 90  | 1.662 | 1.987 | 190 | 1.653 | 1.973 |
| 91  | 1.662 | 1.986 | 191 | 1.653 | 1.972 |
| 92  | 1.662 | 1.986 | 192 | 1.653 | 1.972 |
| 93  | 1.661 | 1.986 | 193 | 1.653 | 1.972 |
| 94  | 1.661 | 1.986 | 194 | 1.653 | 1.972 |
| 95  | 1.661 | 1.985 | 195 | 1.653 | 1.972 |
| 96  | 1.661 | 1.985 | 196 | 1.653 | 1.972 |
| 97  | 1.661 | 1.985 | 197 | 1.653 | 1.972 |
| 98  | 1.661 | 1.984 | 198 | 1.653 | 1.972 |
| 99  | 1.660 | 1.984 | 199 | 1.653 | 1.972 |
| 100 | 1.660 | 1.984 | 200 | 1.653 | 1.972 |

## LAMPIRAN 6

### CONTOH PERHITUNGAN

Perhitungan terhadap kecepatan filtrasi dan kehilangan tekanan pada media batu kerikil dengan ketinggian media 1 m, diameter (19 - 22) mm dengan waktu detensi 60 menit.

Diketahui:

$$Q = 0,5 \text{ l/mnt}$$

$$\text{Dimensi kolom} = \text{Panjang} = \text{Lebar} = 10 \text{ cm}$$

$$d = \text{diameter} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi bed (L)} = 1 \text{ meter}$$

$$\text{Porositas } (\varepsilon) = 0,43$$

$$\text{Faktor bentuk } (\Phi) = 0,73$$

$$\text{Suhu operasi } 25^{\circ} \text{ C, } \nu = 0,9186 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{dtk}$$

- Debit (Q) =  $0,5 \text{ l/mnt} = 0,5 \text{ l} / \text{mnt} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}}$   
 $= 0,0005 \text{ m}^3 / \text{mnt}$

- Luas permukaan (A) =  $p \times l$   
 $= 0,1 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}$   
 $= 0,01 \text{ m}^2$

- $Q = V \times A$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,0005 \text{ m}^3 / \text{mnt}}{0,01 \text{ m}^2} = 0,05 \text{ m} / \text{mnt}$$

$$V = 0,05 \text{ m} / \text{mnt} = 0,05 \text{ m} / \text{mnt} \times \frac{1 \text{ mnt}}{60 \text{ dt}} = 0,00083 \text{ m} / \text{dt}$$

$$\text{Tebal media} = 1,0 \text{ m}$$

$$\text{Diameter media batu krikil (19 - 22) mm}$$

- Volume filter = volume total media dan rongga  
 $= \text{luas permukaan} \times \text{tinggi}$   
 $= 0,01 \text{ m}^2 \times 1,0 \text{ m}$   
 $= 0,01 \text{ m}^3$

Untuk porositas batu krikil nilainya = 0,43

- Volume rongga = volume air dalam filter  
= volume alat  $\times$  porositas  
=  $0,01 \text{ m}^3 \times 0,43$   
=  $0,0043 \text{ m}^3$

- $$N_R = \frac{\Phi \times d \times V_s}{\nu}$$
$$= \frac{0,73 \times 0,022 \text{ m} \times 0,00083 \text{ m} / dt}{0,893 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / dt}$$
$$= 0,4$$

- $C_D$  (koefisien Drag) untuk nilai  $NRe < 1$

$$C_D = \frac{24}{NRe}$$
$$= \frac{24}{0,4}$$
$$= 60$$

Kehilangan Tekanan untuk filter pada media

- $$H_s = 1,067 \frac{C_D \cdot L \cdot V^2}{\Phi \cdot d \cdot \varepsilon^4 \cdot g}$$

$$\alpha = 0,43 \text{ (asumsi)}, \alpha^4 = 0,034$$

$$g = 9,8 \text{ m/dt}^2$$

$$H_s = 1,067 \frac{C_D \cdot L \cdot V^2}{\Phi \cdot d \cdot \varepsilon^4 \cdot g}$$
$$= 1,067 \frac{60 \cdot 1 \text{ m} \cdot (0,0083 \text{ m} / dt)^2}{0,73 \cdot 0,022 \text{ m} \cdot 0,043 \cdot 9,81 \text{ m} / dt^2}$$
$$= 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Kehilangan Tekanan pada asesoris pipa pengatur debit :

- Akibat Valve :

Valve yang digunakan adalah ball valve,  $\beta = 20 \rightarrow k_v = 1,84$

$$\Delta h = k_v \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$\begin{aligned}\Delta h &= 1,84 \cdot \frac{(0,0083 \text{ m/dt})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/dt}^2} \\ &= 6,46 \cdot 10^{-8} \text{ m}\end{aligned}$$

- Akibat belokan :

Sudut belokan  $90^\circ \rightarrow k_b = 0.98$  dengan belokan halus (berangsur-angsur)

$$Hb = k_b \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$\begin{aligned}Hb &= 0.98 \cdot \frac{(0,0083 \text{ m/dt})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/dt}^2} \\ &= 3,44 \cdot 10^{-8} \text{ m}\end{aligned}$$

Total kehilangan tekanan pada pipa pengatur debit :

$$\begin{aligned}&= \Delta h + Hb \\ &= 6,46 \cdot 10^{-8} \text{ m} + 3,44 \cdot 10^{-8} \text{ m} \\ &= 9,9 \cdot 10^{-8} \text{ m}\end{aligned}$$

Beda elevasi muka air pada 2 titik :

$$El = 2,50 \text{ m} - 1,25 \text{ m}$$

$$El = 1,25 \text{ m}$$

Kehilangan Tekanan Total :

$$\begin{aligned}H_{\text{tekanan total}} &= 1,25 \text{ m} + (H_s + (\Delta h + Hb)) \\ &= 1,25 \text{ m} + (1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m} + 9,9 \cdot 10^{-8} \text{ m}) \\ &= 1,250001599 \text{ m}\end{aligned}$$

**HASIL TES DEBIT**

| <b>Perlakuan</b> | <b>Debit ml/mnt</b> |          |          |          |          |
|------------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|
|                  | <b>1</b>            | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
| <b>Kran</b>      | 500                 | 480      | 490      | 500      | 510      |
|                  | 500                 | 500      | 490      | 500      | 500      |
|                  | 500                 | 500      | 500      | 500      | 500      |

**LAMPIRAN 7**  
**DOKUMENTASI**  
**PENELITIAN**



(Pengambilan Air Sungai)



(Media Batu Kerikil)



(Media Batu Kapur)



(Reaktor Roughing Filter)



(Reaktor Membran)



(Rumah Membran)



(Pengukuran Fluks)



(Analisa Kekeruhan dan Nitrat)



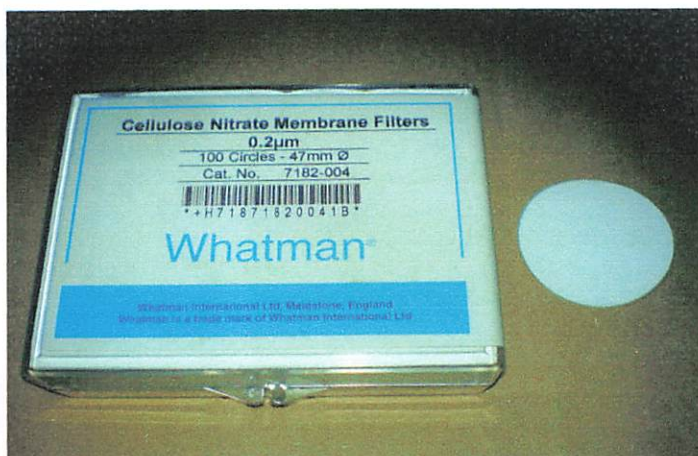
(Sample Nitrat)



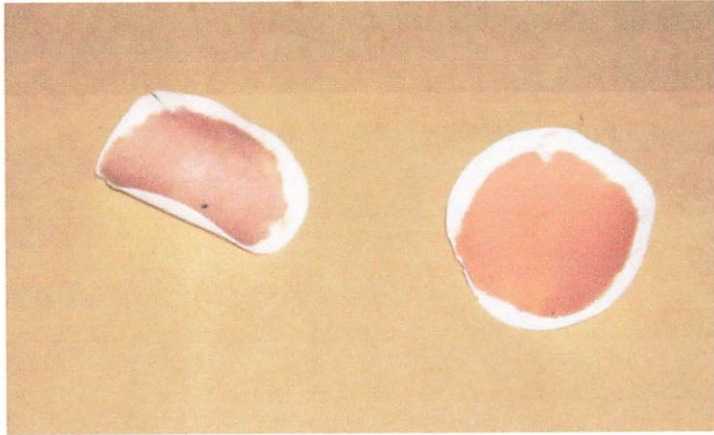
(Hasil Effluent)



(Sample awal, pretreatment dan permeat membran)



(Membran Sellulosa Nitrat)



(Membran Setelah Proses Separasi)



(Turbidimeter)



(Spektrofotometer)