

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya lah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik sebagaimana mestinya.

Pada kesempatan ini, tidak lupa kami mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Anis Artiyani, ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan.
2. Ibu Candra Dwi Ratna, ST., MT selaku Dosen Pembimbing 1
3. Ibu Erni Yulianti, ST., MT selaku Dosen Pembimbing 2
4. Teman-teman Teknik Lingkungan 2014 dan semua pihak yang telah membantu kami dalam penyusunan proposal skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini mungkin masih banyak kekurangan. Oleh sebab itu kritik dan saran dari berbagai pihak akan sangat membantu dalam terciptanya kesempurnaan skripsi ini dan dapat bermanfaat nantinya bagi rekan – rekan pembaca sekalian.

Malang, Agustus 2018

Penyusun

SKRIPSI

PENGOLAHAN LIMBAH ELEKTROPLATING UNTUK
PENURUNAN TSS, TOTAL KROM, DAN NIKEL DENGAN
TEKNIK FITORB MEDIASI SISTEM *SSF-Wetland*



Disusun Oleh :

Ade Risma Dwi Hanifa

14.26.003

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

2018

Hanifa, Ade Risma Dwi, PENGOLAHAN LIMBAH ELEKTROPLATING UNTUK PENURUNAN TSS, TOTAL KROM, DAN NIKEL DENGAN TEKNIK FITOREMEDIASI SISTEM *SSF-Wetland*. Skripsi Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Nasional Malang.

ABSTRAK

*Industri elektroplating memiliki karakteristik air limbah yang bervariasi. Kuantitas air limbah yang dihasilkan tidak terlampau besar tetapi, tingkat toksisitasnya sangat berbahaya dilihat dari parameter utama Krom dan Nikel. Oleh karena itu diperlukan sistem pengolahan lanjutan menggunakan teknik fitoremediasi lahan basah buatan sistem aliran bawah permukaan (*SSF-wetland*). Pada penelitian ini menggunakan reaktor kontinyu yang memanfaatkan Tanaman Bambu Air dan Tanaman Lotus, menggunakan variasi berat basah tanaman 81 gr dan 198 gr serta variasi laju pembebanan hidrolis 100 l/m².hari dan 210 l/m².hari. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi reaktor aliran bawah permukaan dengan variasi berat basah tanaman, dan mengetahui pengaruh laju pembebanan hidrolis dalam menyisihkan konsentrasi TSS, Nikel, dan Total Krom pada limbah elektroplating setelah pengolahan fisik-kimia (*Flokulasi-Koagulasi*). Reaktor aliran bawah permukaan dengan variasi berat basah tanaman 198 gr dan laju pembebanan hidrolis 210 l/m².hari mampu menurunkan TSS sebesar 75% dengan menggunakan Tanaman Lotus pada berat-basah tanaman 198 gr dan laju pembebanan hidrolis 100 l/m².hari, sedangkan parameter Nikel dan Total Krom memiliki efisiensi penurunan sebesar 55,47% dan 61,13% dengan menggunakan Tanaman Lotus pada berat-basah tanaman 198 gr dan laju pembebanan hidrolis 210 l/m².hari.*

Kata Kunci : Bambu Air, Lotus, TSS, Total Krom, Nikel, elektroplating, reaktor kontinyu, dan laju pembebanan hidrolis.

Hanifa, Ade Risma Dwi, PROCESSING OF ELECTROPLATING WASTE FOR DECREASING TSS, Chrom-Total, AND NICKEL WITH SSF-Wetland SYSTEM PHYTOREMEDIATION TECHNIQUES. Department of Environmental Engineering National Institute of Technology Malang.

ABSTRACT

The electroplating industry has various wastewater characteristics. The quantity of wastewater produced is not too large but, the level of toxicity is very dangerous seen from the main parameters of Chromium and Nickel. Therefore, an advanced treatment system is needed using phytoremediation techniques of Constructed-Wetland subsurface (SSF-wetland) systems. In this study using continuous reactors that use Water Bamboo and Lotus Plants, using a variation of plant wet weight of 81 gr and 198 gr and hydraulic loading rate variations of 100 l/m².day and 210 l/m².day. This study aims to determine the efficiency of subsurface flow (SSF-wetland) reactor with variations in wet weight of plants, and to determine the effect of hydraulic loading rate to removing TSS, Nickel and Chrome Total concentrations in electroplating waste after physical-chemical treatment (Flocculation-Coagulation) . The subsurface reactor (SSF-wetland) with a variation of 198 gr plants wet weight and hydraulic loading rate of 210 l/m². Day was able to reduce TSS by 75% by using Lotus plants. while Nickel and Chrom Total parameters have a decrease efficiency of 55.47% and 61.13% using Lotus plants on 198 grams of wet weight and 210 l/ m².day of hydraulic loading rate.

Key word : Water Bamboo, Lotus, TSS, Chrome-Total, Nickel, electroplating, continuous reactors, *Hydraulic Loading Rate.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR GRAFIK	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Definisi Air Limbah.....	5
2.2 Karakteristik Air Limbah.....	5
2.2.1 Karakteristik Fisik	5
2.2.2 Karakteristik Kimia	5
2.2.3 Karakteristik Biologi	6
2.3 Limbah Cair Elektroplating	7
2.3.1 Kualitas dan Kuantitas Limbah Cair Elektroplating.....	9
2.3.2 Dampak Limbah Cair Pelapisan Logam (Elektroplating)	14
2.4 Jenis Pengolahan Air Limbah.....	15
2.5 Pengolahan Limbah Biologi	15
2.6 Fitoremediasi	17
2.7 Lahan Basah (<i>Wetlands</i>).....	18
2.7.1 Lahan Basah Alamiah (Natural Wetland)	19
2.7.2 Lahan Basah Buatan (Constructed Wetland).....	19

2.8	Sistem Aliran Pengolahan Limbah Sistem Rawa Buatan	
	Beraliran Bawah Permukaan (<i>Sub Surface Flow/SSF-Wetland</i>)...	23
2.9	Tanaman Bambu Air	24
2.10	Tanaman Seroja	25
2.11	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Sistem Lahan Basah	
	Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetlands)	27
2.12	Aklimatisasi	29
2.13	Uji Parameter Limbah	29
2.13.1	Uji TSS Secara Gravimetri	29
2.13.2	Uji nikel (Ni) dan Chrom (Cr) dengan metode Spektrofotometri	
	Serapan Atom (SSA)	30
2.14	Metode Pengolahan Data	31
2.14.1	Statistik Deskriptif dan Inferensi	31
2.14.2	Analisis Korelasi	32
2.14.3	Analisis Regresi	32
2.14.4	Analisis Varian (ANOVA) Desain Faktorial	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Ide Tugas Akhir	34
3.2	Jenis Penelitian	34
3.3	Waktu dan Tempat Penelitian	34
3.4	Variabel Penelitian	35
3.4.1	Variabel Terikat	35
3.4.2	Variabel Bebas	35
3.3	Variabel Tetap	35
3.5	Alat dan Bahan Penelitian	36
3.5.1	Peralatan Penelitian	36
3.5.2	Bahan Penelitian	37
3.6	Penelitian Pendahuluan	37
3.6.1	Analisa Awal	37
3.6.2	Aklimatisasi	37

3.6.3	Pelaksanaan Penelitian	38
3.7	Analisis Parameter Uji.....	39
3.8	Analisa Data dan Pembahasan.....	40
3.9	Kerangka Penelitian.....	41
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		
4.1	Karakteristik Limbah Cair Pelapisan Logam (elektroplating) Kabupaten Malang setelah Proses Pengolahan fisik	42
4.2	Karakteristik Air Limbah Setelah Pengolahan	43
4.3	Analisis Deskriptif	45
4.3.1	Analisis Penyisihan TSS.....	45
4.3.2	Analisis Penyisihan Nikel.....	48
4.3.3	Analisis Penyisihan Krom	52
4.4	Analisis Statistik	55
4.4.1	Analisis Korelasi.....	56
4.4.1.1	Hasil Analisis Korelasi Untuk Persentase Penyisihan TSS.....	56
4.4.1.2	Hasil Analisis Korelasi Untuk Persentase Penyisihan Nikel.....	59
4.4.1.3	Hasil Analisis Korelasi Untuk Persentase Penyisihan Krom	61
4.4.2	Analisis Anova Two-way	64
4.4.2.1	Hasil Analisis Anova Untuk Penyisihan TSS.....	65
4.4.2.2	Hasil Analisis Anova Untuk Penyisihan Nikel.....	66
4.4.2.3	Hasil Analisis Anova Untuk Penyisihan Krom	68
4.4.3	Analisis Regresi	69
4.4.3.1	Hasil Analisis Regresi Untuk Persentase Penyisihan TSS	70
4.4.3.2	Hasil Analisis Regresi Untuk Persentase Penyisihan Nikel	75
4.4.3.3	Hasil Analisis Regresi Untuk Persentase Penyisihan Krom.....	79
4.5	Pembahasan	84
4.5.1	Penurunan Konsentrasi TSS	84
4.5.2	Penurunan Konsentrasi Nikel	86
4.5.3	Penurunan Konsentrasi Krom.....	88
4.5.4	Pengaruh pH dan Suhu	91

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan.....	91
5.2	Saran.....	91

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses produksi yang menghasilkan Air Limbah	5
Gambar 2.2	Skema zat padat.....	8
Gambar 2.3	Klasifikasi Proses Pengolahan Air Limbah Secara Biologi.....	16
Gambar 2.4	Klasifikasi Jenis Lahan Basah (<i>wetland</i>)	19
Gambar 2.5	Sistem Aliran Wetland.....	21
Gambar 2.6	Tanaman bambu air	24
Gambar 2.7	Tanaman Seroja	26
Gambar 3.1	Kerangka penelitian.....	41

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	Hubungan konsentrasi Akhir TSS (mg/l) terhadap laju pembebanan hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Bambu Air dan tanpa tanaman	45
Grafik 4.2	Hubungan konsentrasi Akhir TSS (mg/l) terhadap laju pembebanan hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Lotus dan tanpa tanaman.....	46
Grafik 4.3	Hubungan Persentase Penyisihan TSS (%) terhadap laju pembebanan hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Bambu Air dan tanpa tanaman	47
Grafik 4.4	Hubungan Persentase Penyisihan TSS (%) terhadap laju pembebanan hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Lotus dan tanpa tanaman	48
Grafik 4.5	Hubungan konsentrasi Akhir Nikel (mg/l) terhadap laju pembebanan hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Bambu Air dan tanpa tanaman	49
Grafik 4.6	Hubungan konsentrasi Akhir Nikel (mg/l) terhadap laju pembebanan hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Lotus dan tanpa tanaman	49
Grafik 4.7	Hubungan Persentase Penyisihan Nikel (%) terhadap HLR dengan reaktor menggunakan Tanaman Bambu Air dan tanpa tanaman	51
Grafik 4.8	Hubungan persentase Akhir Nikel (%) terhadap Laju Pembebanan Hidrolis dengan reaktor Menggunakan Tanaman Lotus dan tanpa tanaman	51
Grafik 4.9	Hubungan konsentrasi Akhir Total-krom (mg/l) terhadap Laju Pembebanan Hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Bambu Air dan tanpa tanaman	52

Grafik 4.10	Hubungan konsentrasi Akhir Total-krom (mg/l) terhadap Laju Pembebanan Hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Lotus dan tanpa tanaman	53
Grafik 4.11	Hubungan persentase Akhir Krom (mg/l) terhadap Laju Pembebanan dengan reaktor menggunakan Tanaman Bambu Air dan tanpa tanaman.....	54
Grafik 4.12	Hubungan persentase Akhir Krom (mg/l) terhadap Laju Pembebanan Hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Lotus dan tanpa tanaman	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Baku mutu limbah cair industri pelapisan logam. Berdasarkan Keputusan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013.....	9
Tabel 2.2	Karakteristik media dalam SSF-Wetlands	27
Tabel 4.1	Karakteristik fisik Limbah <i>Elektroplating</i> setelah proses pengolahan fisik (koagulasi – flokulasi).....	43
Tabel 4.2	Karakteristik Limbah Cair <i>Elektroplating</i> setelah proses pengolahan fisik (koagulasi – flokulasi).....	44
Tabel 4.3	Konsentrasi TSS akhir air limbah setelah pengolahan	44
Tabel 4.4	Konsentrasi Nikel akhir air limbah setelah pengolahan	44
Tabel 4.5	Konsentrasi Krom akhir air limbah setelah pengolahan	45
Tabel 4.6	Persentase Penyisihan TSS (%)	48
Tabel 4.7	Persentase Penyisihan Nikel (%)	50
Tabel 4.8	Persentase Penyisihan Krom (%).....	54
Tabel 4.9	Analisis Korelasi persen penyisihan TSS (%R) dengan berat basah tanaman (BB) dan Laju Pembebanan Hidrolis (HLR) pada Tanaman Bambu Air	56
Tabel 4.10	Analisis Korelasi persen penyisihan TSS (%R) dengan berat basah tanaman (BB) dan Laju Pembebanan Hidrolis (HLR) pada Tanaman Lotus	57
Tabel 4.11	Analisis Korelasi persen penyisihan Nikel (%R) dengan berat basah tanaman (BB) dan Laju Pembebanan Hidrolis (HLR) pada Tanaman Bambu Air	60
Tabel 4.12	Analisis Korelasi persen penyisihan Nikel (%R) dengan berat basah tanaman (BB) dan Laju Pembebanan Hidrolis (HLR) pada Tanaman Lotus	60

Tabel 4.13	Analisis Korelasi persen penyisihan Krom (%R) dengan berat basah tanaman (BB) dan Laju Pembebanan Hidrolis (HLR) pada Tanaman Bambu Air	61
Tabel 4.14	Analisis Korelasi persen penyisihan Krom (%R) dengan berat basah tanaman (BB) dan Laju Pembebanan Hidrolis (HLR) pada Tanaman Lotus	63
Tabel 4.15	Analisa Anova Persentase Penyisihan TSS Pada Tanaman Bambu Air	65
Tabel 4.16	Analisa Anova Persentase Penyisihan TSS Pada Tanaman Lotus	65
Tabel 4.17	Analisa Anova Persentase Penyisihan Nikel Pada Tanaman Bambu Air	66
Tabel 4.18	Analisa Anova Persentase Penyisihan Nikel Pada Tanaman Lotus	67
Tabel 4.19	Uji Tukey Variasi Laju Pembebanan Hidrolis dengan Persentase Penyisihan Nikel dengan Tanaman Lotus	67
Tabel 4.20	Analisa Anova Persentase Penyisihan Krom Pada Tanaman Bambu Air	68
Tabel 4.21	Analisa Anova Persentase Penyisihan Krom Pada Tanaman Lotus	69
Tabel 4.22	Hasil uji Regresi Persentase Penyisihan TSS (%) terhadap Berat Basah Tanaman (BB) dan Laju Pembebanan Hidrolis (HLR) pada Tanaman Bambu Air	70
Tabel 4.23	Hasil uji Regresi Persentase Penyisihan TSS (%) terhadap Berat Basah Tanaman (BB) dan Laju Pembebanan Hidrolis (HLR) pada Tanaman Lotus	72

Tabel 4.24	Hasil uji Regresi Persentase Penyisihan Nikel (%) terhadap Berat Basah Tanaman (BB) dan Laju Pembebanan Hidrolis (HLR) pada Tanaman Bambu Air	75
Tabel 4.25	Hasil uji Regresi Persentase Penyisihan Nikel (%) terhadap Berat Basah Tanaman (BB) dan Laju Pembebanan Hidrolis (HLR) pada Tanaman Lotus	77
Tabel 4.26	Hasil uji Regresi Persentase Penyisihan Krom (%) terhadap Berat Basah Tanaman (BB) dan Laju Pembebanan Hidrolis (HLR) pada Tanaman Bambu Air	79
Tabel 4.27	Hasil uji Regresi Persentase Penyisihan Krom (%) terhadap Berat Basah Tanaman (BB) dan Laju Pembebanan Hidrolis (HLR) pada Tanaman Lotus	82



T BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

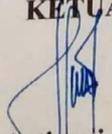
Nama : Ade Risma Dwi Hanifa
Nim : 14.26.003
Jurusan : Teknik Lingkungan (S-1)
Judul : Pengolahan Limbah Elektroplating Untuk Penurunan TSS,
Total Krom, Dan Nikel Dengan Teknik Fitoremediasi
Sistem *SSF-Wetland*

Dipertahankan di hadapan Tim Penguji Ujian Skripsi jenjang Program Strata Satu
(S-1),

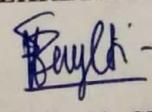
Pada hari : Sabtu
Tanggal : 8 September 2018
Dengan Nilai : 77,75 (B+)

PANITIA UJIAN SKRIPSI

KETUA

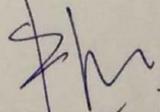

Anis Artiyani., ST. MT
NIP.P. 1030300384

SEKRETARIS

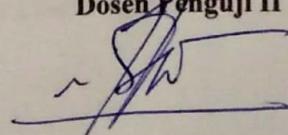

Erni Yulianti., ST. MT
NIP.P. 1031300469

ANGGOTA PENGUJI

Dosen Penguji I


Dr. Evy Hendriarianti., ST. MT
NIP. P. 1030300382

Dosen Penguji II


Dr. Ir. Hery Setyobudiarso., Msi
NIP. 196106201991031002



LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan pernyataan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis dengan judul “Pengolahan Limbah Elektroplating Untuk Penurunan TSS, Total Krom, Dan Nikel Dengan Teknik Fitoremediasi Sistem *SSF-Wetland*” adalah benar merupakan hasil penelitian, pemikiran, pemaparan hasil karya intelektual sendiri dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua sumber referensi yang dikutip dan yang dirujuk telah ditulis dengan lengkap pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari diketahui terjadi penyimpanan dan pernyataan yang saya buat, maka saya siap menerima sanksi sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Malang, September 2018

Yang membuat pernyataan,



ADE RISMA DWI HANIFA

NIM. 14.26.003

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**Pengolahan Limbah Elektroplating Untuk Penurunan TSS, Total Krom, Dan
Nikel Dengan Teknik Fitoremediasi
Sistem *SSF-Wetland***

Oleh :

**Ade Risma Dwi Hanifa
(14.26.003)**

**Mengetahui
Dosen Pembimbing**

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Candra Dwiratna Wulandari., ST. MT
NIP.Y. 1030000349**

**Erni Yulianti., ST. MT
NIP.P. 1031300469**

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Lingkungan

**Anis Artivani., ST. MT
NIP.P. 1030300384**

SKRIPSI

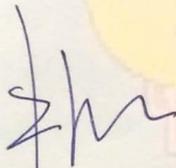
**Pengolahan Limbah Elektroplating Untuk Penurunan TSS, Total Krom, Dan
Nikel Dengan Teknik Fitoremediasi Sistem
SSF-Wetland**

Oleh :

**Ade Risma Dwi Hanifa
(14.26.003)**

**Mengetahui :
Dosen Penguji**

Dosen Penguji I



**Dr. Evy Hendriarianti, ST., MT
NIP. P. 1030300382**

Dosen Penguji II



**Dr. Ir. Hery Setyobudiarso, Msi
NIP. 196106201991031002**

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Lingkungan



**Anis Artiyani., ST. MT
NIP .P. 1030300384**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Dewasa ini perkembangan ekonomi semakin pesat dengan ditunjang kemajuan teknologi yang memadai. Meningkatnya pembangunan nasional dapat dilihat dari aspek pembangunan industri nasional yang saat ini terbukti memberikan dampak positif bagi kesejahteraan masyarakat, tetapi di lain pihak juga memberikan dampak negatif bagi kualitas lingkungan hidup dikarenakan pembuangan langsung air limbah oleh kegiatan industri.

Kuantitas air limbah yang dihasilkan pada proses elektroplating tidak terlampau besar tetapi, tingkat toksisitasnya sangat berbahaya dilihat dari parameter utama krom dan nikel (Nurhasni, 2013). Pada Industri elektroplating PT X Kabupaten Malang masih belum memiliki IPAL dan limbah cair yang dihasilkan langsung dibuang ke badan air dan sebagian digunakan untuk menyirami tanaman. Limbah cair yang akan digunakan pada penelitian ini adalah effluent dari pengolahan fisik-kimia (koagulasi-flokulasi). Adapun karakteristik limbah cair elektroplating setelah pengolahan fisik-kimia (koagulasi-flokulasi) yaitu TSS sebesar 1 mg/l, Total Krom sebesar 7,77 dan Nikel sebesar 10,16 mg/.

Salah satu alternatif pengolahan yaitu pengolahan secara biologi yaitu menggunakan teknik fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan pengolahan tersier yang dinilai murah dan efisien. Pengolahan dengan fitoremediasi memanfaatkan tumbuhan air sebagai penyerap bahan pencemar (logam) maupun bahan – bahan organik. Seperti pada penelitian (Moh. Mishbahul Anam, 2013) menggunakan tanaman bambu air dan media zeolit sebanyak 54 kg dalam penurunan kandungan logam Pb dan Cr leachate penelitian ini menghasilkan efisiensi penurunan logam Pb sebesar 82,2% dan Cr sebesar 61,2%. Berdasarkan penelitian (Dian Iskandar, 2010) yang mengkaji kualitas air dengan memperhatikan keberadaan Tanaman Lotus membuktikan bahwa Tanaman Lotus mampu meningkatkan kualitas

perairan situ burung terbukti dilihat dari parameter TSS 2-20 mg/l (berada di bawah baku mutu PP No.82 tahun 2001 kelas 2). Berdasarkan penelitian (Maulina Cahyani,2016) menggunakan tanaman kayu apu mampu menurunkan logam berat nikel hingga 0 mg/l dengan berat optimum 81 gr. Berdasarkan penelitian (Imbar Agusety adevy) menggunakan tanaman kangkung air mampu menurunkan logam berat Cr dengan efisiensi 84% dengan berat optimum 100 gr. Serta Pada penelitian (Faruq Fajrin, 2014) menggunakan tanaman cattail teknik fitoremediasi sistem subsurface flow dengan kerapatan optimum 110 mg/cm^2 (198 gr) dalam waktu 5 hari mampu meremoval TSS hingga efisiensi 89,91%. Sedangkan pada penelitian (Puti sri komala,2013) menggunakan tumbuhan mensiang (*scirpus grossus L.f*) untuk mereduksi parameter pencemar dengan media dari atas ke bawah yaitu tanah 10 cm, pasir 15 cm, kerikil halus 7,5 cm, dan kerikil kasar 7,5 cm dengan ketinggian reaktor 20 cm dan laju pembebanan hidrolis optimum 100 l/m^2 .hari didapat efisiensi penurunan TSS sebesar 72-95%. Pada penelitian (Rinda Meylia Widyasari,2016) fitoremediasi menggunakan tanaman *Canna indica* tipe *SSF horizontal flow* dengan laju pembebanan hidrolis 210 l/m^2 .hari didapat efisiensi penurunan TSS sebesar 84%.

Melihat penelitian diatas yang menggunakan pengolahan dengan teknik fitoremediasi mampu menurunkan berbagai macam parameter organik maupun anorganik. Maka, penelitian ini menggunakan reaktor kontinyu dengan teknik fitoremediasi lahan basah buatan sistem aliran bawah permukaan (*SSF-wetland*) untuk menguji dua jenis tanaman berbeda yaitu Tanaman Bambu Air dan tanaman Lotus, menggunakan variasi berat basah tanaman 81 gr, 198 gr dan variasi laju pembebanan hidrolis 100 l/m^2 .hari dan 210 l/m^2 .hari. Digunakannya tanaman Lotus dan bambu air selain memiliki nilai estetika sebagai tanaman hias, juga dikarenakan kemampuan Lotus dalam menghilangkan beban pencemar melalui mekanisme koagulasi dan flokulasi (Dian iskandar, 2010) sedangkan tanaman bambu air memiliki keunggulan lain yaitu dapat tumbuh dimana saja, mudah perawatannya, dan tahan terhadap pengaruh luar. Sedangkan

dipilihnya media Tanah karena fungsinya sebagai tempat menempelnya akar dan media hidup bagi mikroorganisme, sedangkan media pasir sebagai penyaring bagi air yang telah diproses pada lapisan tanah, dan media kerikil halus berfungsi sebagai media pendukung (Puti Sri Komala,2013)

Penelitian menggunakan teknik fitoremediasi *SSF-Wetland* ini dilakukan setelah melewati pengolahan koagulasi-flokulasi. Effluent akhir dari pengolahan *SSF-Wetland* yang dihasilkan diharapkan sudah sesuai effluent standar yang sudah ditetapkan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perbandingan kemampuan Bambu Air dan Lotus dalam menurunkan konsentrasi TSS, Nikel, dan Total Krom dengan teknik fitoremediasi Subsurface Flow System (*SSF-wetland*) pada limbah cair elektroplating setelah dilakukan pengolahan koagulasi-flokulasi.
2. Bagaimana hubungan antara laju pembebanan hidrolis dan berat basah tanaman pada teknik fitoremediasi Subsurface Flow System (*SSF-wetland*) dalam menurunkan parameter TSS, nikel, dan total krom pada limbah cair elektroplating setelah dilakukan pengolahan koagulasi flokulasi.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui perbandingan kemampuan Bambu Air dan Lotus dengan teknik fitoremediasi Subsurface Flow System (*SSF-wetland*) dalam menurunkan konsentrasi TSS, Nikel, dan Total Krom pada limbah cair elektroplating setelah dilakukan pengolahan koagulasi-flokulasi.
2. Mengetahui hubungan antara laju pembebanan hidrolis dan berat basah tanaman pada teknik fitoremediasi Subsurface Flow System (*SSF-wetland*) dalam menurunkan parameter TSS, Nikel, dan Total Krom pada limbah cair elektroplating setelah dilakukan pengolahan secara kimia.

1.4 Manfaat Penelitian

Mampu menghasilkan rangkaian pengolahan yang efektif dalam mengolah limbah cair elektroplating. Dapat pula dijadikan sebagai alternatif pengolahan di PT X Kabupaten Malang.

1.5 Ruang Lingkup

Dengan melihat permasalahan diatas maka diambil batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Air Limbah yang digunakan berasal dari effluent pengolahan secara fisik-kimia yaitu pengolahan koagulasi flokulasi.
2. Melakukan aklimatisasi tanaman.
3. Menggunakan reaktor *vertical Sub Surface Flow Wetland* (SSF-wetland).
4. Jenis tanaman yang digunakan adalah Tanaman Bambu Air dan Lotus ditanam pada substrat. Menggunakan sumber cahaya alami (matahari).
5. Dilakukan variasi terhadap : Variasi Tanaman, Berat Basah tanaman, dan laju pembebanan hidrolis.
6. Parameter yang diuji adalah TSS, Total Krom, dan Nikel dalam limbah cair elektroplating.
7. Melakukan analisa efisiensi penurunan kadar TSS, Total Krom, dan nikel pada pengolahan limbah cair elektroplating secara biologi menggunakan Tanaman Bambu Air dan Lotus .
8. Menganalisa pengaruh antara jenis tanaman, laju pembebanan hidrolis, dan berat basah tanaman.
9. Menyusun laporan penelitian terkait pengolahan limbah cair elektroplating yang diteliti serta menjadi rekomendasi pengolahan limbah cair di PT X kabupaten malang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Air Limbah

Berikut ini adalah beberapa istilah seputar air limbah secara umum yaitu

- a. Air Limbah merupakan sisa dari suatu usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair (PP No. 82 tahun 2001)
- b. Air limbah domestik, merupakan air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan permukiman (real estate), rumah makan (restoran), perkantoran, perniagaan, apartemen, dan asrama (kepmen LH no. 112 tahun 2003)
- c. Air limbah industri, merupakan air limbah yang berasal dari kegiatan industri (Dwica Wulandari, 2012)

2.2 Karakteristik Air Limbah

2.2.1 Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik yang paling penting dari air limbah adalah komponen padatan total (total solids content) yang antara terdiri dari materi mengapung (*floating matter*), materi mengendap (*settleable matter*) dan mater dalam larutan air limbah (matter in solution). Karakteristik limbah secara fisik diantaranya : Total Padatan (Total Solids – TS), Total Padatan Tersuspensi (TSS), Total Padatan Terlarut (TDS), Volatile & Fixed Solids, dan temperatur.

2.2.2 Karakteristik Kimia

1. Konstituen Kimia organik

Senyawa-senyawa organik terdiri atas kombinasi dari karbon, hidrogen, dan oksigen dan pada beberapa senyawa berkaitan pula dengan nitrogen. Elemen lainnya yang penting seperti belerang, fosfor, dan besi juga dapat dijumpai. Semakin lama, jumlah dan jenis bahan organik semakin banyak, hal ini akan mempersulit dalam pengolahan air limbah, sebab beberapa zat

tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Materi organik dalam air limbah secara umum terdiri atas protein (40-60%), karbohidrat (25-50%), serta minyak & lemak (8-12 %) (Metcalf & Eddy, 2004 dalam Dwica Wulandari, 2012)

2. Konstituen Kimia Anorganik

Beberapa komponen anorganik dari air limbah dan air alami sangat penting untuk peningkatan dan pengawasan kualitas air. Jumlah bahan anorganik meningkat sejalan dan dipengaruhi oleh formasi geologis dari asal air atau air limbah. Bahan anorganik meliputi : pH, klorida, kebasaaan, sulfur, zat beracun, logam berat, metan, nitrogen, fosfor, gas. Karakteristik kimia untuk konstituen kimia anorganik diantaranya : *Dissolved Oxygen*, Bau, pH (Tingkat Keasamaan), Nitrogen, Alkalinitas.

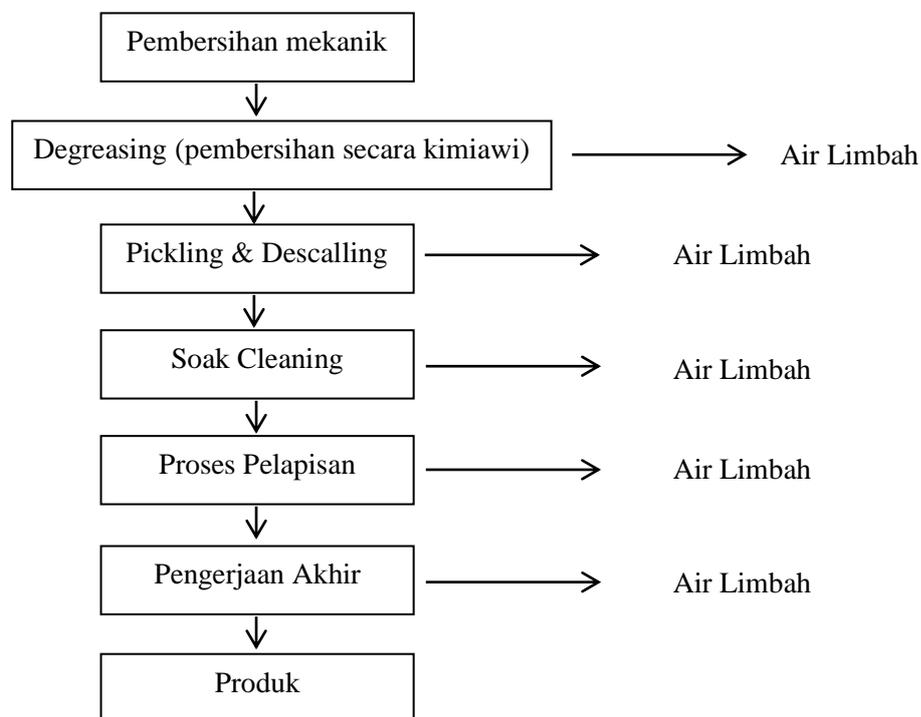
2.2.3 Karakteristik Biologi

Karakteristik biologi pada air limbah merupakan hal yang penting untuk diketahui karena digunakan untuk mengontrol potensi terjadinya penyakit-penyakit bagi kehidupan manusia yang ditimbulkan oleh organisme patogen. Selain itu, reaksi –reaksi dalam air limbah seperti dekomposisi juga banyak melibatkan bakteri dan mikroorganisme lainnya. Organisme patogen yang ditemukan dalam air limbah dapat bersumber dari manusia ataupun hewan yang terinfeksi oleh penyakit tertentu, atau yang menjadi pembawa (carier) untuk infeksi penyakit tertentu. Organisme patogen yang ditemukan dalam air limbah dapat diklasifikasikan menjadi 4 kategori, antara lain ialah bakteri, protozoa, helmints, dan virus.

2.3 Limbah Cair Elektroplating

Electroplating adalah proses pelapisan logam yang menggunakan prinsip elektrokimia. Dalam metode ini komponen bersama dengan batangan atau lempengan logam yang akan dilapisi, direndam dalam suatu larutan elektrolit yang mengandung garam-garam logam pelapis (Syafriul Hadi, 2015). Pada proses *electroplating* biasanya digunakan tembaga, nikel, dan krom sebagai logam pelapis material.

Secara umum pada industri elektroplating, dampak dari setiap proses pencampuran bahan kimia dengan air akan menghasilkan limbah bila campuran itu tidak dimanfaatkan lagi. Adapun proses produksi yang memungkinkan munculnya air limbah, dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Proses produksi elektroplating yang menghasilkan Air Limbah

Limbah dari proses elektroplating merupakan limbah logam berat yang termasuk dalam limbah B3 (Bahan Beracun Berbahaya) (Nurhasni, 2013). Berdasarkan seluruh tahapan proses produksi elektroplating, karakteristik limbah yang dihasilkan oleh industri pelapisan logam adalah sebagai berikut :

1. Larutan Pembersih

Limbah ini berasal dari proses pembersihan benda kerja atau yang disebut degreasing. Air pada proses pembilasan biasanya mengandung sedikit padatan total, serta pH berkisar di daerah netral.

2. Larutan bersifat alkali

Larutan bersifat alkali ini mencakup sabun, lemak, atau butiran minyak pada proses degreasing. Teknik degreasing yang digunakan salah satunya adalah *soak cleaning* yaitu menggunakan larutan alkalin. Larutan ini mengandung pH tinggi sekitar 12.

3. Proses pengasaman (pickling) serta air pembilasnya

Yaitu penghilangan karat permukaan spesimen dengan cara dicelupkan ke dalam larutan HCL (asam klorida) atau larutan H_2SO_4 (asam sulfat).

4. Limbah Sianida

Limbah sianida berasal dari tangki sianida dan tetesan sianida dari benda kerja pada saat pelapisan serta air pembilasan.

5. Limbah kromat

Yakni limbah yang berasal dari proses pelapisan serta air pembilasan. Lapisan pertama lapisan tembaga berwarna kemerahan. Lapisan kedua adalah lapisan nikel yang berwarna putih, dan lapisan terakhir adalah lapisan khrom yang berwarna putih mengkilat. (Rieke Yuliatuti, 2017).

2.3.1 Kualitas dan Kuantitas Limbah Cair Elektroplating

Limbah industri pelapisan logam berasal dari bahan-bahan kimia yang digunakan dan hasil dari proses pelapisan. Logam-logam seperti kadmium, krom, tembaga, timbal, arsen, barium, raksa, selenium, nikel, seng dan timah serta beberapa senyawa non logam seperti senyawa-senyawa sianida, fluorida, amoniak dan fenol disebutkan sebagai pencemar spesifik dari kegiatan pelapisan logam. Dimana limbah tersebut merupakan jenis limbah yang tergolong sebagai limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3).

Adapun baku mutu limbah cair industri pelapisan logam. Berdasarkan Keputusan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut :

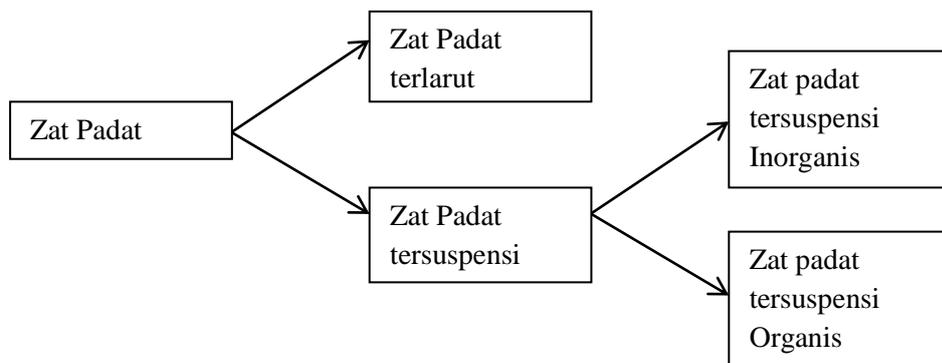
Tabel 2.1 Baku mutu limbah cair industri pelapisan logam. Berdasarkan Keputusan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013.

BAKU MUTU AIR LIMBAH UNTUK INDUSTRI PELAPISAN LOGAM		
Parameter	Kadar Maksimum (mg/l)	Beban Pencemaran Maksimum (g/m²)
TSS	20	6
Sianida Total (CN) tersisa	0,2	0,005
Krom Total (Cr)	0,5	0,5
Krom Heksavalen (Cr ⁶⁺)	0,1	0,8
Tembaga (Cu)	0,6	-
Seng (Zn)	1,0	-
Nikel (Ni)	1,0	0,2
Kadmium (Cd)	0,05	
Timbal (Pb)	0,1	
pH	6,0 – 9,0	

(sumber : Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku mutu air limbah bagi industri dan/atau kegiatan usaha lainnya).

A. Total Suspended Solid (TSS)

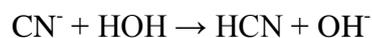
Zat padat total adalah semua zat-zat yang tersisa sebagai residu dalam suatu bejana, bila sampel air dalam bejana tersebut dikeringkan pada suhu tertentu. Zat padat total terdiri dari zat padat terlarut dan zat padat tersuspensi yang dapat bersifat organik dan inorganis seperti dijelaskan pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Skema zat padat (Sumber : Faruq Fajrin, 2014)

B. Sianida Total (CN)

Sianida adalah kelompok senyawa yang mengandung gugus siano ($-C\equiv N$) yang terdapat dalam bentuk-bentuk berbeda. Sianida di alam dapat diklasifikasikan sebagai sianida bebas, sianida sederhana, kompleks sianida dan senyawa turunan Sianida. Sianida bebas adalah penentu ketoksikan senyawa sianida yang dapat didefinisikan sebagai bentuk molekul (HCN) dan ion (CN^-) dari sianida yang dibebaskan melalui proses pelarutan dan disosiasi senyawa sianida. Kedua spesies ini berada dalam kesetimbangan satu sama lain yang bergantung pada pH sehingga konsentrasi HCN dan CN^- dipengaruhi oleh pH. Pada pH dibawah 7, keseluruhan sianida berbentuk HCN sedangkan pada pH diatas 10,5, keseluruhan sianida berbentuk CN^- . Reaksi antara ion sianida dan air ditunjukkan oleh dalam reaksi di bawah ini (M.M Pitoi, 2015)



C. Krom Total (Cr) dan Krom Heksavalen (Cr⁶⁺)

Kromium (Cr) merupakan logam yang keras, tahan panas, elektropositif, dan penghantar panas yang baik. Keberadaannya sangat melimpah di kerak bumi, biasanya dalam bentuk trivalent (Cr³⁺) dan hexavalent (Cr⁶⁺). Sumber Cr⁶⁺ berasal dari industri pelapisan logam dan produksi pigmen, sedangkan Cr³⁺ banyak terdapat dalam limbah industri tekstil, penyamakan kulit, dan gelas keramik (Bielicka et al. 2005 dalam Silviatun Nurkhasanah, 2015). Krom (Cr) merupakan salah satu unsur yang keberadaannya di lingkungan perlu dikendalikan mengingat sifatnya yang dapat mempengaruhi terhadap kesehatan manusia serta makhluk hidup lainnya. Tingkat oksidasi krom yang penting adalah +3 dan +6. Cr(VI) yang bersifat sebagai oksidator kuat dapat merusak jaringan sel dan bersifat toksik dan karsinogenik.

D. Tembaga (Cu)

Merupakan salah satu logam berat yang banyak dimanfaatkan dalam industri, terutama dalam industri elektroplating, tekstil dan industri logam (alloy). Ion Cu (II) dapat terakumulasi di otak, jaringan kulit, hati, pankreas dan miokardium. Oleh karena itu, proses penanganan limbah menjadi bagian yang sangat penting dalam industri. Keberadaan unsur tembaga di alam dapat ditemukan dalam bentuk logam bebas, akan tetapi lebih banyak ditemukan dalam bentuk persenyawaan. Cu termasuk ke dalam kelompok logam esensial, dimana dalam kadar yang rendah dibutuhkan oleh organisme sebagai koenzim dalam proses metabolisme tubuh, sifat racunnya baru muncul dalam kadar yang tinggi. Pada konsentrasi 0,01 ppm fitoplankton akan mati karena Cu menghambat aktivitas enzim dalam pembelahan sel fitoplankton. Konsentrasi Cu dalam kisaran 2,5 - 3,0 ppm dalam badan perairan akan membunuh ikan – ikan (Anita Wardah Fitriyah, 2012).

E. Seng (Zn)

Seng (Zn) adalah logam yang berwarna putih kebiruan, logam ini sangat mudah ditempa dan liat pada suhu 110-150°C. Zink melebur pada 410°C dan mendidih pada 906°C. Logamnya yang murni, melarut lambat sekali dalam asam dan dalam alkali, adanya zat-zat pencemar atau kontak dengan platinum atau tembaga, yang dihasilkan oleh penambahan beberapa tetes larutan garam dari logam-logam ini, mempercepat reaksi. Pada manusia seng merupakan unsur yang terlibat dalam sejumlah besar enzim yang mengkatalisis reaksi metabolik yang vital. Karena fasilitasnya yang digunakan dalam sintesis DNA dan RNA dan partisipasinya dalam metabolisme protein, Zn juga esensial untuk pertumbuhan anak. Meskipun Zn merupakan unsur esensial bagi tubuh, tetapi dalam dosis tinggi Zn dapat berbahaya dan bersifat toksik.

F. Nikel (Ni)

Nikel adalah logam putih yang keras dengan berat molekul 58,71. nikel bersifat liat, dapat ditempa dan sangat kukuh. Logam ini melebur pada 1455°C dan bersifat magnetis. Nikel adalah logam putih yang keras dengan berat molekul 58,71. (lukman Hakim dan Yayat iman S, 2017). Tingginya kadar nikel dalam jaringan tubuh manusia bisa mengakibatkan munculnya berbagai efek samping yaitu. Akumulasi Ni pada pankreas bisa menghambat sekresi hormon insulin.

G. Cadmium (Cd)

Kadmium adalah logam putih perak lunak, mengkilap. Kadmium bersifat lentur, tahan terhadap tekanan serta dapat dimanfaatkan sebagai pencampur logam lain, melebur pada suhu 321. Kadmium digunakan secara intensif dalam proses electroplating (pelapisan elektrik), pembuatan baterai, plastik, galvanisasi karena Cd memiliki keistimewaan nonkorosif. digunakan pula dalam pembuatan alloy, pigmen warna cat, keramik, percetakan tekstil dan pigmen untuk gelas dan email gigi. Bagi manusia Kadmium sebenarnya merupakan logam asing, Tubuh sama sekali tidak memerlukan

dalam proses metabolisme. Toksisitas Cd bisa merusak sistem fisiologis, sistem respirasi, sistem sirkulasi darah dan jantung, kerusakan sistem reproduksi, sistem syaraf bahkan dapat mengakibatkan kerapuhan tulang, kerusakan ginjal dan menurunkan fungsi pulmo dalam tubuh.

H. Timbal

Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat yang sering juga disebut dengan istilah timah hitam. Timbal memiliki titik lebur yang rendah, mudah dibentuk, memiliki sifat kimia yang aktif sehingga biasa digunakan untuk melapisi logam agar tidak timbul perkaratan. Timbal adalah logam yang lunak berwarna abu - abu kebiruan mengkilat dan memiliki bilangan oksidasi +2 (Sunarya, 2007). Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat yang sering juga disebut dengan istilah timah hitam. Timbal memiliki titik lebur yang rendah, mudah dibentuk, memiliki sifat kimia aktif sehingga biasa digunakan untuk melapisi logam agar tidak timbul perkaratan. Timbal adalah logam yang lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat dan memiliki bilangan oksidasi +2. Timbal mempunyai nomor atom 82 dengan berat atom 207,20. Titik leleh timbal adalah 1740°C dan memiliki massa jenis $11,34 \text{ g/cm}^3$ (widowati,2008). Palar (1994) mengungkapkan bahwa logam Pb pada suhu $500\text{-}600^{\circ}\text{C}$ dapat menguap dan membentuk oksigen di udara dalam bentuk timbal oksida (PbO). Timbal merupakan salah satu logam berat yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup karena bersifat karsiogenik, dapat menyebabkan mutasi, terurai dalam jangka waktu lama dan toksisitasnya tidak berubah (brass & Strauss, 1981)

I. pH

pH selalu menunjukkan kadar asam atau basa dalam suatu larutan, melalui konsentrasi (sebetulnya aktifitas) ion hidrogen⁺. Ion hidrogen merupakan faktor untuk mengerti reaksi kimiawi dalam ilmu teknik penyehatan karena, (Sumber: Alaerts dan Santika, 1987).

- H⁺ selalu ada dalam keseimbangan dinamis dengan air/H₂O, yang membentuk suasana untuk reaksi kimiawi yang berkaitan dengan masalah pencemaran air dimana sumber ion hidrogen tidak pernah habis.
- H⁺ tidak hanya merupakan unsur molekul H₂O saja tetapi juga merupakan unsur banyak senyawa lain, hingga jumlah reaksi tanpa H⁺ dapat dikatakan hanya sedikit saja.

2.3.2 Dampak Limbah Cair Pelapisan Logam (*Electroplating*)

Pembuangan langsung air limbah elektroplating tanpa diolah terlebih dahulu dapat menyebabkan pencemaran kepada mikroorganisme dan lingkungannya baik dalam bentuk larutan, koloid maupun partikel lainnya. Krom heksavalen bersifat lebih toksik dari krom trivalen karena sifatnya yang lebih stabil (Nurhasni, 2013 dalam Kurnia Puspa Dewi, 2016). Selain Cr, limbah cair industri pelapisan logam mengandung logam berat antara lain Sn, Cr, Cd, Zn, Cu dan Ni. Limbah ini jika langsung dibuang ke lingkungan tanpa pengolahan terlebih dahulu akan menimbulkan dampak negatif terhadap komponen-komponen lingkungan, sehingga akan menurunkan kualitas lingkungan. Dampak langsung yang ditimbulkan oleh air limbah industri pelapisan logam apabila tidak dikelola dengan benar adalah menurunnya kualitas badan air, dan dampak jangka panjangnya dapat memicu timbulnya penyakit kanker, karena sebagian besar bahan baku industri logam bersifat karsinogenik. (Widayat 2010 dalam Kurnia Puspa Dewi, 2016).

2.4 Jenis Pengolahan Air Limbah

Pengolahan berdasarkan unit proses (metcalf and Eddy, 1993 dalam Faruq Fajrin, 2014)

1. Pengolahan secara fisik

Merupakan proses pengolahan melakukan *removal* bahan pengotor secara fisik. yang termasuk proses pengolahan secara fisik adalah screening, sedimentasi, filtrasi, adsorpsi (penyerapan fisik), dan flotasi.

2. Pengolahan secara kimiawi

Merupakan Proses dengan menggunakan *removal* atau konversi kontaminan yang menggunakan bahan kimia dalam air buangan yang termasuk proses pengolahan secara kimiawi adalah netralisasi, koagulasi-flokulasi, dan pertukaran ion.

3. Pengolahan secara biologis

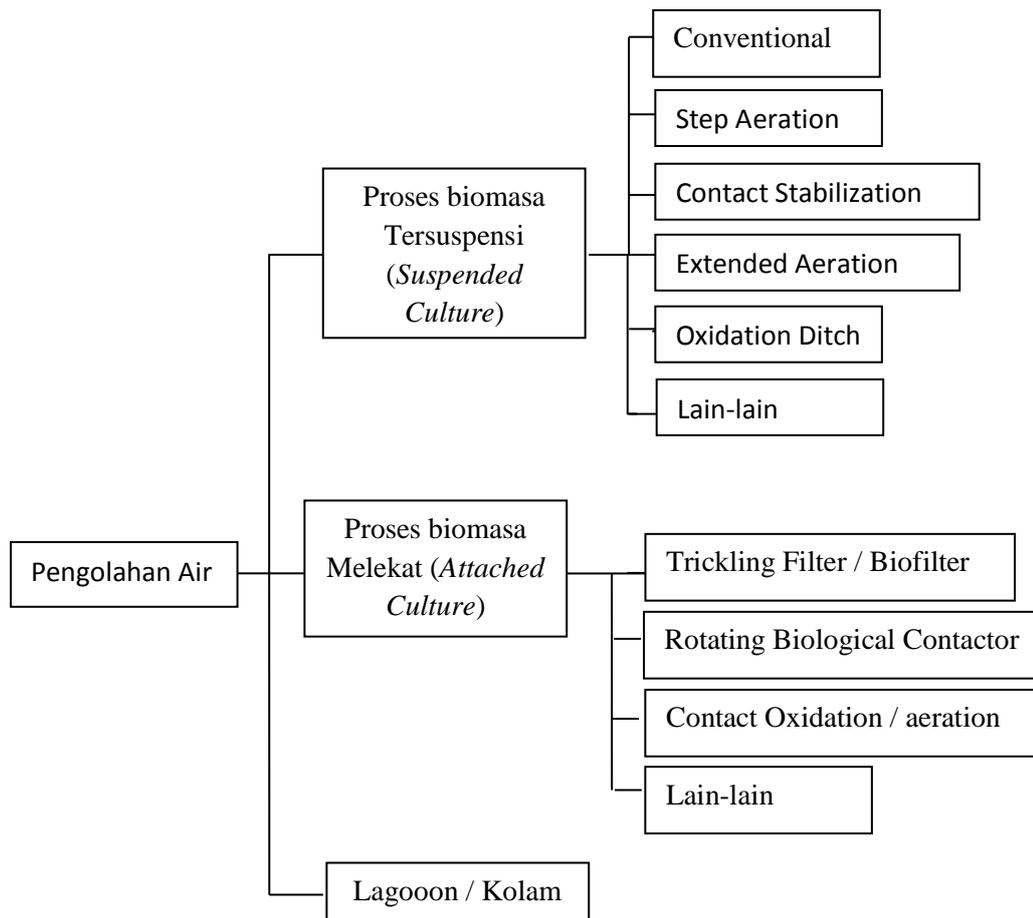
Merupakan proses pengolahan dengan menggunakan *removal* kontaminan dalam air buangan melalui aktifitas biologis, yang berfungsi untuk menghilangkan bahan organik yang ada dalam air buangan tersebut.

2.5 Pengolahan limbah biologi

Proses pengolahan limbah secara biologi adalah memanfaatkan mikroorganisme (ganggang, bakteri, protozoa). Pada dasarnya cara biologi adalah pemusatan molekul kompleks menjadi molekul sederhana. Proses ini sangat peka terhadap faktor suhu, pH, oksigen terlarut (DO) dan zat-zat inhibitor terutama zat-zat beracun.

Proses ini dilakukan jika proses fisika atau kimia atau gabungan kedua proses tersebut tidak memuaskan. Proses biologi membutuhkan zat organik sehingga kadar oksigen semakin lama semakin sedikit. Pengoperasian proses biologis dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu operasi tanpa udara dan operasi dengan udara.

Digunakannya mikroorganisme untuk menguraikan atau mengubah senyawa organik, maka dibutuhkan suatu kondisi lingkungan yang baik. Pertumbuhan dan perkembangan harus memenuhi persyaratan hidup, misalnya penyebaran, suhu, pH air limbah dan sebagainya. Adanya perubahan dalam lingkungan hidupnya akan mengakibatkan perubahan sifat morfologi dan fisiologi. Oleh karena itu kondisi lingkungan amat penting dalam pengendalian kegiatan mikroorganisme dalam air limbah. (Fita Fatimah, 2006)



Gambar 2.3 Klasifikasi proses pengolahan air limbah secara biologis

Sumber : Ir. Nusa Idaman Said (2000)

2.6 Fitoremediasi

Pada proses fitoremediasi, tanaman berfungsi sebagai alat pengolah bahan pencemar dimana limbah padat atau cair yang akan diolah, dialirkan ke dalam suatu lahan yang telah ditanami dengan tanaman tertentu yang dapat menyerap, mengumpulkan, serta mendegradasi bahan-bahan pencemar (Rido Wandhana, 2013 dalam Ayu Arimbi, 2017).

Mekanisme kerja fitoremediasi terdiri dari beberapa konsep dasar yaitu Fitoekstraksi, fitovolatilasi, fitodegradasi, fitostabilisasi, rhizhofiltrasi dan interaksi dengan mikroorganisme pendegradasi polutan.

1. Fitoekstraksi, merupakan penyerapan polutan oleh tanaman dari air atau tanah kemudian diakumulasi/disimpan didalam tanaman (daun atau batang), tanaman seperti itu disebut hiperakumulator. Setelah polutan terakumulasi, tanaman bisa dipanen dan tanaman tersebut tidak boleh dikonsumsi tetapi harus di musnahkan dengan insenerator kemudian dilandfiling.
2. Fitovolatilisasi, merupakan proses penyerapan polutan oleh tanaman dan polutan tersebut dirubah menjadi bersifat volatil dan kemudian ditranspirasikan oleh tanaman. Polutan yang di lepaskan oleh tanaman keudara bisa sama seperti bentuk senyawa awal polutan, bisa juga menjadi senyawa yang berbeda dari senyawa awal.
3. Fitodegradasi, adalah proses penyerapan polutan oleh tanaman dan kemudian polutan tersebut mengalami metabolisme didalam tanaman. Metabolisme polutan didalam tanaman melibatkan enzim antara lain nitroductase, laccase, dehalogenase dan nitrilase.
4. Fitostabilisasi, merupakan proses yang dilakukan oleh tanaman untuk mentransformasi polutan didalam tanah menjadi senyawa yang non toksik tanpa menyerap terlebih dahulu polutan tersebut kedalam tubuh tanaman. Hasil transformasi dari polutan tersebut tetap berada didalam tanah.

5. Rhizofiltrasi, adalah proses penyerapan polutan oleh tanaman tetapi biasanya konsep dasar ini berlaku apabila medium yang tercemarnya adalah badan perairan.

(fatmawati nur, 2013 dalam Ayu Arimbi, 2017)

6. Interaksi tanaman dan mikroorganismenya pada proses remediasi tanah yang tercemar.

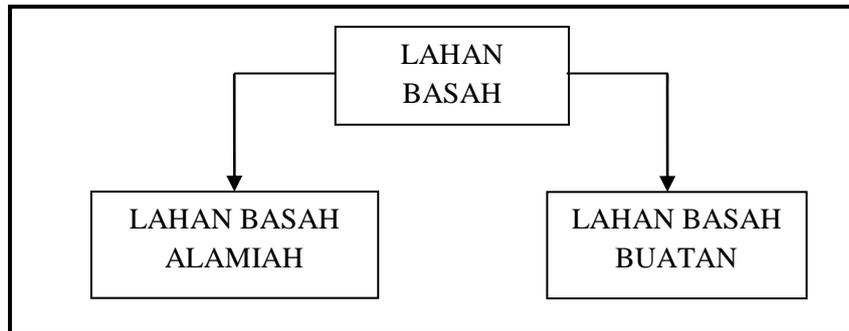
Tanaman yang tumbuh di lokasi yang tercemar belum tentu berperan secara aktif dalam penyesuaian kontaminan, bisa saja tanaman tersebut berperan secara tidak langsung. Yang berperan aktif dalam biodegradasi polutan adalah mikroorganismenya tanah sedangkan tanaman bersifat mendorong percepatan remediasi lokasi yang tercemar tersebut. (kelly, 1997 dalam Ayu Arimbi, 2017)

2.7 Lahan Basah (Wetlands)

Lahan basah adalah wilayah daratan yang digenangi air atau memiliki kandungan air yang tinggi, baik permanen maupun musiman. Ekosistemnya mencakup rawa, danau, sungai, hutan mangrove, hutan gambut, hutan banjir, limpasan banjir, pesisir, sawah, hingga terumbu karang. Lahan ini bisa ada di perairan tawar, payau maupun asin, proses pembentukannya bisa alami maupun buatan (Ensiklopedi Bumi, 2016 dalam Ayu Arimbi, 2017).

Lahan jenis ini juga menjadi habitat sejumlah besar tumbuhan dan satwa, relatif lebih banyak dibanding jenis ekosistem lain, kondisinya semakin memburuk dari hari ke hari. Hal ini yang membuat Badan Pendidikan dan Kebudayaan Perserikatan Bangsa Bangsa (UNESCO) mengagendakan sebuah konvensi yang dikenal Konvensi Ramsar. Menurut Konvensi Ramsar, pengertian lahan basah adalah: "Area rawa, lahan gambut atau air, baik alami atau buatan, permanen atau sementara, dengan air yang statis atau mengalir, segar, payau atau asin, termasuk area air laut dengan kedalaman saat surut tidak melebihi enam meter.

Pada prinsipnya sistem lahan basah dapat dibedakan menjadi dua kategori dan secara skematis dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Klasifikasi Jenis Lahan Basah (Wetland)

Sumber : Supradata (2005) dalam Faruq Fajrin (2014)

2.7.1 Lahan Basah Alamiah (Natural Wetland)

Sistem ini umumnya merupakan suatu sistem pengolahan limbah dalam area yang sudah ada secara alami, contohnya daerah rawa. Kehidupan biota dalam lahan basah alamiah sangat beragam. Debit air limbah yang masuk, jenis tanaman dan jarak tumbuh pada masing-masing tanaman tidak direncanakan serta terjadi secara alamiah (Supradata, 2005 dalam Ayu Arimbi, 2017).

2.7.2 Lahan Basah Buatan (Constructed Wetland)

Menurut Sasono dan Pungut (2013) dalam Ayu Arimbi, 2017 Constructed Wetland merupakan sebuah teknik pengolahan yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas air serta mengurangi polutan dalam air. Constructed Wetland adalah sistem pengolahan terencana/terkontrol yang di desain dan dibangun dengan menggunakan proses alami, yang melibatkan vegetasi Wetland tanah berpasir dan mikroorganisme untuk mengolah air limbah. Constructed Wetland atau Wetland menurut Metcalf dan Eddy (2003) dalam Ayu Arimbi, 2017, adalah suatu lahan yang jenuh air dengan kedalaman air tipikal yang kurang dari 0,6 meter yang mendukung pertumbuhan tanaman air emergent, misalnya Cattail,

Bulrush, Reeds dan Sedges (*Carex*, sp). Fungsi rawa buatan yang pada umumnya digunakan sebagai keperluan pengolahan air tercemar, dan dapat juga didefinisikan sebagai ekosistem rawa buatan manusia yang didesain khusus untuk memurnihkan air tercemar dengan mengoptimalkan proses-proses fisika, kimia dan biologi dalam suatu kondisi yang saling berintegrasi (Dwi Endah Lestari, 2012)

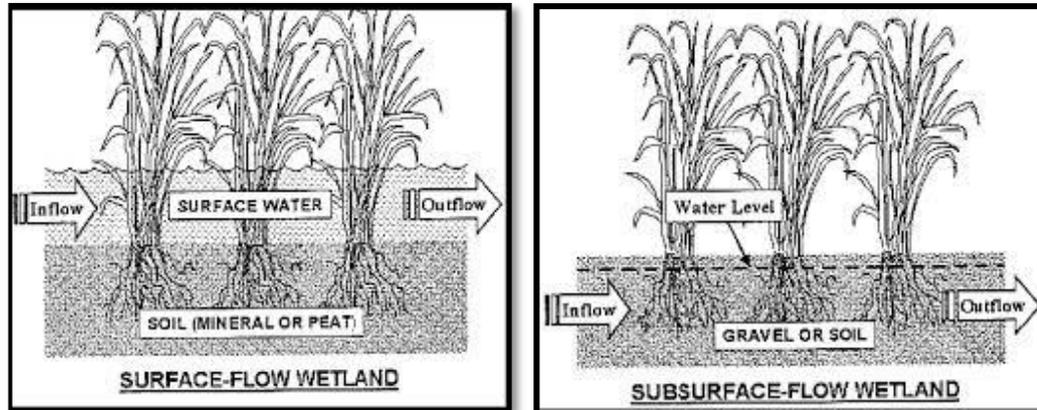
1. Proses – Proses Pengolahan Air Limbah Sistem Constructed Wetland

Proses pengolahan air limbah pada sistem Wetland berlangsung melalui proses fisika, kimia dan biologi yang disebabkan oleh adanya interaksi mikroorganisme, tanaman dan subtract (Mukhlis, 2003 dalam Ayu Arimbi, 2017). Prinsip dasar sistem Wetland untuk pengolahan air limbah adalah pada proses respirasi tumbuhan air.

Tipe-tipe Wetland Menurut Novotny dan Olem (1984) dalam Ayu Arimbi, 2017, Wetland dapat dibedakan menjadi 2 tipe, yaitu :

- a. Wetland dengan aliran di atas permukaan tanah (Free Water Surface)
Wetland dengan sistem Free Water Surface (FWS) terdiri dari kolam atau saluran dengan media alami (tanah) atau buatan (pasir/kerikil) untuk menyokong pertumbuhan tanaman air. Tanaman air mencuat (Emergent Aquatic Plant) tumbuh diatas media tanam dan air tercemar diolah pada saat air mengalir diatas permukaan media melalui rumpun tanaman (Meutia, 2001 dalam Ayu Arimbi, 2017).
- b. Wetland dengan aliran di bawah permukaan tanah (Sub-surface Flow Constructed Wetland)
Wetland dengan system Sub-surface Flow System (SSF) ini terdiri atas saluran atau kolam dangkal yang berisi tanah, pasir, atau media batu/kerikil yang akan membantu proses penyaringan air. Air tercemar atau air limbah mengalir di bawah permukaan media horizontal melalui zona perakaran tanaman rawa di antara kerikil/pasir (Meutia, 2001 dalam Ayu Arimbi, 2017).

Perbedaan sistem aliran dari kedua sistem Lahan Basah tersebut dapat dilihat secara rinci pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 sistem aliran wetland

Sumber : Ayu Arimbi, 2017

2. Klasifikasi lahan basah buatan (Constructed Wetlands)

klasifikasi lahan basah buatan berdasarkan jenis tanaman yang digunakan, terbagi menjadi 3 (tiga) kelompok :

- a. Sistem yang menggunakan tanaman makrophyta mengambang atau sering disebut dengan lahan basah sistem tanaman air mengambang (Floating Aquatic Plant System).
- b. Sistem yang menggunakan tanaman makrophyta dalam air (Submerged) dan umumnya digunakan pada sistem lahan basah buatan tipe aliran permukaan (Surface Flow Wetlands).
- c. Sistem yang menggunakan tanaman makrophyta yang akarnya tenggelam atau sering disebut juga amphibiuous plants dan biasanya digunakan untuk lahan basah buatan tipe aliran bawah permukaan (Subsurface Flow Wetlands) SSF-Wetlands. (Suriawiria, 1993 dalam Ayu Arimbi, 2017).

3. Mekanisme penyisihan bahan pencemar dalam Constructed Wetland

Menurut (Campbell & Ogden, 1999 dalam Ayu Arimbi, 2017), pada dasarnya kandungan organik tidak hilang dalam sistem Wetlands ini, melainkan mengalami peristiwa sebagai berikut :

- a. Dikonversikan ke plants material.
- b. Dikembalikan ke atmosfer
- c. Terendapkan ke dasar Wetlands
- d. Dikeluarkan ke aliran air Downstream.

Sebagai contoh removal fisik dari COD dipercaya terjadi melalui proses pengendapan dan penangkapan material di ruang hampa pada media batuan. Kira-kira sebesar 80% total COD dihilangkan melalui pengendapan pertama dan 60%-65% COD yang dihilangkan tersebut dalam bentuk solid (Benefield & Randall, 1980) dalam (Ayu Arimbi, 2017). Proses penurunan kandungan COD dalam sistem Wetland akan semakin baik bila digunakan media dengan ukuran partikel yang lebih kecil (Schuls, 2000) dalam (Ayu Arimbi, 2017) . Begitu juga dengan senyawa organik lainnya, dapat dipecah untuk dikonsumsi bagi mikroorganisme dalam sistem Wetland. Biodegradasi ini menghilangkan senyawa organik dari air seperti menyediakan energi untuk mikroorganisme (Lorion, 2001 dalam (Ayu Arimbi, 2017). Tingkat kemampuan biodegradasi dari berbagai macam substansi organik tergantung dari kemampuan degradasi relative dari material, temperatur, konsentrasi oksigen, pH, pengadaan nutrient, konsentrasi substrat dan adanya senyawa toksin yang potensial (Cooper, 1990) dalam (Ayu Arimbi, 2017).

Sistem Pengolahan yang direncanakan, seperti untuk debit limbah, beban organik, kedalaman media, jenis tanaman lainnya, sehingga kualitas air limbah yang keluar dari sistem tersebut dapat dikontrol sesuai dengan yang dikehendaki oleh pembuatnya.

2.8 Sistem Aliran Pengolahan Limbah Sistem Rawa Buatan beraliran bawah permukaan (*Sub Surface Flow/SSF-Wetland*)

a. aliran Secara Horizontal

Rawa buatan dengan sistem aliran bawah permukaan ini terdiri dari saluran-saluran atau kolam-kolam dangkal yang berisi tanah, pasir, atau media porous (batu atau kerikil) yang akan membantu proses penyaringan air. Air limbah mengalir dibawah permukaan media secara horizontal melalui zona perakaran tanaman rawa diantara karikil/pasir.

Untuk mengatasi kemungkinan penyumbatan pada SSF dapat dilakukan dengan mengatur media pada bagian inlet digunakan dengan diameter besar. Media dengan diameter besar mempunyai konduktivitas hidraulik besar dan mampu mengurangi terjadinya penyumbatan di bagian awal reaktor. Setelah zona inlet yang berdiameter besar digunakan media dengan diameter kecil. Media dengan diameter kecil memberi manfaat berupa tersedianya area permukaan yang lebih banyak dan dapat digunakan untuk membantu pengolahan.

b. Aliran Secara vertikal

Rawa buatan beraliran vertikal sering digunakan pada tahap awal sistem pengolahan air limbah –setelah proses pra pengendapan air limbah dilakukan. Pada rawa buatan tipe ini – air limbah dialirkan di atas permukaan kolam secara berselang-seling sehingga terjadi percikan air yang merembes/mengalir ke bawah melalui media kerikil dan sistem perakaran tanaman dimana proses-proses penjernihan alami secara aerobik berlangsung. Pengontrolan debit air perlu dilakukan agar tidak terbentuk genangan air di bagian dasar sistem rawa buatan sehingga kondisi aerobik dapat tercipta di seluruh bagian kolam.

rawa buatan beraliran vertikal ini dapat dibagi lagi menjadi dua tipe, yaitu:

- Rawa buatan dengan tipe aliran vertikal menurun
Pada rawa buatan dengan tipe aliran vertikal menurun ini, air dialirkan di permukaan sistem lalu merembes melalui substrat yang dipenuhi oleh akar tanaman hingga kemudian mencapai dasar rawa untuk keluar dari sistem.
- Rawa buatan dengan tipe aliran vertikal menaik
Pada rawa buatan tipe ini air disalurkan melalui pipa ke dasar sistem lalu naik pelan-pelan melalui substrat hingga kemudian keluar melalui saluran yang terletak di permukaan substrat.

2.9 Tanaman Bambu Air

Berikut adalah taksonomi Bambu Air yaitu :

Kerajaan	: Plantae (Tumbuhan)
Divisi	: Pteridophyta
Kelas	: Equisetopsida
Ordo	: Equisetales
Famili	: Equisetaceae
Genus	: Equisetum
Spesies	: E. Hyemale



Gambar 2.6 Tanaman Bambu Air

Tanaman Bambu air (*Equisetum hyemale*) yang diperlakukan sebagai tanaman uji memiliki bentuk fisik dengan tinggi rerata 70 cm. Diameter batang berkisar antara 0,4 – 0,6 cm. Rerata massa tanaman 5,1 gram. Pemilihan spesifikasi tanaman berdasarkan jumlah dominan yang ada

pada rumpun bambu air dengan karakter fisik yang segar, kuat, dan tidak mudah patah bukubukunya. Untuk batang tanaman yang tidak termasuk dalam spesifikasi tersebut, maka hitungannya diakumulasikan sehingga mendekati dan atau sampai pada ketentuan. Schnoor et al. (1995) dalam Rosiana (2007) mengatakan, tanaman meremediasi polutan organik melalui tiga cara, yaitu menyerap secara langsung bahan kontaminan, mengakumulasi metabolisme non fitotoksik ke sel-sel tanaman, dan melepaskan eksudat dan enzim yang dapat menstimulasi aktivitas mikroba, serta menyerap mineral pada daerah rizosfer. Tanaman juga dapat menguapkan sejumlah uap air. Penguapan ini dapat mengakibatkan migrasi bahan kimia. Pemilihan batang tanaman yang baik merujuk pada pernyataan (Tjitrosoepomo, 1989) tersebut. Tanaman akan mampu meremediasi polutan jika tanaman tersebut sudah mencapai usia dewasa. Tanaman bambu air memiliki batang dengan kandungan silikat yang tinggi, yang berguna mengikat partikel logam yang terserap oleh akar tanaman.

2.10 Tanaman Lotus

Berikut adalah klasifikasi Tanaman Lotus yaitu:

Kerajaan : Plantae
Divisi : Magnoliophyta
Kelas : Magnoliopsida
Ordo : Proteales
Famili : Nelumbonaceae
Genus : Nelumbo
Spesies : Nelumbo nucifera



Gambar 2.7 tanaman Seroja

Seroja atau lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) adalah spesies tanaman Air tahunan dari genus *Nelumbo* yang berasal dari India. Di Indonesia tanaman ini sering kali disebut teratai (*Nymphaea*) walaupun sebenarnya keduanya tidak berkerabat. Tangkai berbentuk tabung yang kosong di tengahnya untuk jalan lewat udara. Daun terdapat di permukaan air, keluar dari tangkai yang berasal dari rimpang yang berada di dalam lumpur pada dasar kolam, sungai, atau rawa. Daun Seroja ada dua macam, yaitu berbentuk datar, mengapung tepat di permukaan dan yang berbentuk cekungan tidak dalam, muncul keluar mencuat dari air di atas tangkai yang kaku serta berbintil tegas jika airnya cukup dangkal. Tangkai daun Seroja memiliki panjang 75 – 150 cm dan bergetah putih susu. Tinggi tanaman sekitar satu meter hingga satu setengah meter. Daun tumbuh ke atas, tinggi di atas permukaan air. Daun berbentuk bundaran penuh tanpa potongan, bergelombang di bagian tepi, dengan urat daun berkumpul ke tengah daun. Bunga dengan diameter sampai 20 cm, berwarna putih bersih, kuning atau merah jambu, keluar dari tangkai yang kuat menjulang di atas permukaan air. Seroja dapat tumbuh dengan baik pada temperatur perairan yang hangat ($23,9^{\circ}\text{C}$ - $29,4^{\circ}\text{C}$) dengan substrat yang berlumpur. Menurut Slocum & Robinson (1996) dalam Dian Iskandar (2010) suhu yang baik untuk pertumbuhan seroja adalah 24°C - 29°C . Menurut Islami dan Utomo dalam Dian Iskandar (2010) pH yang baik untuk pertumbuhan tanaman pada kisaran pH netral 6-7, seangkan untuk nilai

DO optimal menurut McNeely et.al (1979) dalam dian iskandar (2010) pada perairan tawar berkisar antara 15 mg/l pada suhu 0°C dan 8 mh/l pada husu 25°C.

2.11 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Sistem Lahan Basah Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetlands)

a. Media

Untuk meningkatkan kinerja constructed wetlands selain memanfaatkan tanaman air, constructed wetlands juga didesain dengan variasi media, kerikil, dan botol bekas air mineral (*pets*) juga dapat dimanfaatkan sebagai media tanam (Anna Catharina Sri Purnama Suswati, 2013). Media yang umum digunakan dalam reaktor Lahan Basah Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetlands) secara umum dapat dilihat Pada tabel 2.2. Media yang umum digunakan pada sistem Lahan Basah Buatan Aliran bawah Permukaan yang terbagi menjadi 5 (lima) tipe, yaitu :

Tabel 2.2 Karakteristik media dalam SSF-Wetlands

Tipe Media	Diameter Butiran (mm)	Porositas (μ)	Konduktivitas Hidrolik (ft/d)
Medium sand	1	0,30	1.640
Coarse sand	2	0,32	3.280
Gravelly sand	8	0,35	16.400
Medium gravel	32	0,40	32.800
Coarse gravel	128	0,45	328.000

(Sumber : Hasti Suprihatin, 2014)

Peranan utama dari media pada Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (SSF Wetlands) tersebut adalah : Tempat tumbuh bagitanaman, Media berkembang-biaknya mikroorganisme, Membantu terjadinya proses sedimentasi, Membantu penyerapan (adsorpsi) bau dari gas hasil biodegradasi.

b. Tanaman

Pemilihan jenis tanaman akan menjaga kinerja SSF dengan mempertimbangkan jenis limbah yang akan diolah. Berdasarkan berbagai penelitian jenis tanaman air memiliki tingkat yang berbeda-beda dalam menyerap logam berat, antara lain: Tanaman eceng gondok dapat menurunkan kadar deterjen sebesar 19,63%, BOD 37,24% dan COD sebagai 20,93%. Tanaman Cattail dapat menurunkan BOD 14,6%, COD 12,2% dan TSS 23,4% pada air limbah tahu. Tanaman Canna mampu menurunkan BOD 92% dan COD 75% pada air limbah industri catering.

Tujuan penggunaan tanaman dalam kinerja wetland adalah:

1. Untuk menyediakan oksigen di zona akar
2. Untuk menambah luas permukaan bagi pertumbuhan mikroorganisme yang tumbuh di zona akar
3. Menyediakan media penyangga bagi bakteri pengurai
4. Menyediakan komponen lingkungan perairan yang dapat meningkatkan efisiensi pengolahan

c. Mikroorganisme

Mikroorganisme yang diharapkan tumbuh dan berkembang dalam media SSF-Wetland tersebut adalah jenis heterotropik aerobik, karena pengolahan berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan mikroorganisme anaerobic. Menurut penelitian menyebutkan menyebutkan bahwa komposisi mikrobial yang terdapat dalam efluent Wetland Constructed dengan analisis DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) didominasi oleh jenis Bacillus, Clostridium, Mycoplasma, Eubacterium, Nitrospira.

Jumlah Mikroorganisme di lapisan media pasir akan meningkat seiring dengan lamanya waktu detensi sehingga removal kandungan COD semakin lama semakin meningkat. Jumlah Mikroorganisme lebih banyak di media yang terdiri dari satu media dibandingkan dengan media yang hanya terdiri pasir saja.

d. Temperatur

Suhu pada air dapat menentukan banyaknya mikroorganisme dan tingkat aktivitasnya. Suhu berfungsi memperlihatkan aktivitas kimiawi dan biologis, pada suhu tinggi pengentalan cairan berkurang dan mengurangi sedimentasi. Suhu berpengaruh terhadap proses fisika, kimia dan biologis dalam air

e. pH

Kadar pH dalam perairan sehat yaitu 6-8 agar dapat mendukung semua proses biologis khususnya bakteri pengurai. Pertumbuhan tanaman air dipengaruhi oleh pH pada $\text{pH} < 4$ sebagian besar tumbuhan air mati karena tidak dapat bertoleransi dengan pH rendah.

f. Waktu tinggal

Waktu detensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak antara mikroorganisme dengan air limbah serta oksigen yang dikeluarkan oleh akar tanaman. Semakin lama waktu tinggal maka akan terjadi peningkatan suplai oksigen ke dalam air yang akan meningkatkan kinerja mikroba yang akan merombak bahan pencemar sehingga zat pencemar mengalami penurunan. (Fika Hariyanti, 2016)

2.12 Aklimatisasi

Aklimatisasi adalah proses dari sebuah organisme untuk menyesuaikan diri dengan perubahan lingkungan secara tiba-tiba, umumnya berupa perubahan temperatur, kelembapan, makanan yang biasanya disebabkan oleh perubahan musim atau iklim. Aklimatisasi bertujuan agar tumbuhan mampu menyesuaikan diri dengan lingkungan tumbuh dalam perlakuan fitoremediasi (Maulina Cahyani, 2016). Uji resistensi untuk Proses aklimatisasi dan pemilahan tanaman dilakukan secara bertahap dengan tahap pengenceran. Setelah proses aklimatisasi dengan pengenceran bertahap selesai dan diperoleh tanaman uji yang sehat dan segar, maka tanaman uji siap untuk diaplikasikan (Faruq Fajrin, 2014).

2.13 Uji Parameter Limbah

2.13.1 Uji TSS Secara Gravimetri

Metode ini digunakan untuk menentukan residu tersuspensi yang terdapat dalam contoh uji air dan air limbah secara gravimetri. Adapun prinsip cara uji yaitu: Contoh uji yang telah homogen disaring dengan kertas saring yang telah ditimbang, residu yang tertahan dikeringkan sampai mencapai berat konstan pada suhu 103°C sampai dengan 105°C. Kenaikan berat saringan mewakili padatan tersuspensi total (TSS). Jika padatan tersuspensi menghambat saringan maka diameter pori saringan perlu diperbesar atau mengurangi volume contoh uji. Untuk memperoleh estimasi TSS, dihitung perbedaan antara padatan terlarut total dengan padatan total.

$$\text{mg TSS per liter} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume contoh uji, ml}}$$

Keterangan : A adalah berat kertas saring + residu kering, mg;

B adalah berat kertas saring, mg.

Pada pengendalian mutu pertama-tama dilakukan analisis blanko untuk kontrol kontaminasi kemudian analisis duplo untuk kontrol ketelitian analisis. Persamaan untuk menentukan RPD terhadap dua penentuan (replikasi) yaitu :

$$\text{RPD} : \frac{(X_1 - X_2)}{(X_1 + X_2) / 2} \times 100 \%$$

Keterangan : X_1 , kandungan padatan tersuspensi pada penentuan pertama

X_2 , kandungan padatan tersuspensi pada penentuan kedua

2.13.2 Uji nikel (Ni) dan Chrom (Cr) dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Metode ini dapat digunakan untuk penentuan logam krom total (Cr-T) maupun nikel (Ni). Nyala pada kisaran kadar Cr 0,2 mg/L sampai 5,0 mg/L dan panjang gelombang 357,9 nm untuk uji krom total dan nyala pada kisaran kadar 0,3 mg/L sampai dengan 6,0 mg/L serta panjang gelombang 232,0 nm untuk uji nikel. Prinsip pada cara uji ini pada kedua parameter sama yakni penambahan asam nitrat yang bertujuan untuk melarutkan analit logam dan menghilangkan zat-zat pengganggu yang terdapat dalam contoh uji dengan bantuan pemanas listrik, kemudian diukur dengan SSA menggunakan gas asetilen, C₂H₂. Tetapi Berikut adalah perhitungan konsentrasi nikel dan chrom dengan perumusan yang sama serta persen temu balik (% recovery, % R)

$$\text{Konsentrasi logam total Ni atau Cr (mg/l)} = C \times fp$$

Keterangan : C = konsentrasi yang didapat hasil pengukuran (mg/L);

Fp = faktor pengenceran

$$\% R = \frac{A-B}{C} \times 100 \%$$

Keterangan : A = kadar contoh uji yang di spike;

B = kadar contoh uji yang tidak di spike

C adalah kadar standar yang diperoleh (target value)

2.14 Metode Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan secara statistik, yang didasarkan pada tiga hal yakni proses analisis, asumsi bentuk distribusi, dan banyaknya variabel yang dilibatkan metologi statistik berdasarkan proses analisisnya meliputi Analisis deskriptif dan analisis konfirmatif (inferensi).

2.14.1 Statistik Deskriptif

Metode statistika yang meringkas, menyajikan dan mendeskripsikan data dalam bentuk yang mudah dibaca sehingga memberikan kemudahan dalam memberikan informasi disebut statistika deskriptif. Statistika deskriptif menyajikan data dalam tabel, grafik, ukuran pemusatan data, dan penyebaran data.

2.14.2 Analisis Korelasi

Analisis korelasi dilakukan untuk mengukur tingkat keeratan hubungan linear antara variabel yang diamati nilai korelasi antara -1 sampai +1. Suatu hubungan antara variabel dikatakan berkorelasi kuat apabila makin mendekati 1 atau (-1) dan jika hubungan antara dua variabel dikatakan lemah apabila semakin mendekati 0 (nol).

Dalam analisis korelasi ini juga terdapat hipotesa ada tidaknya korelasi antar variabel dimana:

- H_0 = Tidak ada korelasi antara variabel ($\rho \neq 0$)
- H_1 = Ada korelasi antara variabel ($\rho = 0$)

Sementara dasar pengambilan keputusan dapat dilihat dari daerah penolakan Berdasarkan nilai probabilitas, yaitu :

- Jika probabilitas $\geq 0,05$, maka H_0 diterima
- Jika probabilitas $\leq 0,05$, maka H_0 ditolak

2.14.3 Analisis Regresi

Analisis regresi digunakan untuk mengetahui bagaimana variabel dependen/kriteria dapat diprediksikan melalui variabel independen atau variabel prediktor, secara individual. Dampak dari penggunaan analisis regresi dapat digunakan untuk memutuskan apakah naik dan menurunnya variabel dependen dapat dilakukan melalui menaikkan dan menurunkan keadaan variabel independen, atau meningkatkan keadaan variabel

dependen dapat dilakukan dengan meningkatkan variabel independen/dan sebaliknya.

Model regresi memiliki variabel respon (y) dan variabel prediktor (x). Kedua variabel dihubungkan dalam bentuk persamaan regresi dinyatakan sebagai berikut :

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k + \epsilon$$

2.14.4 Analisa Varian (ANOVA) Desain Faktorial

Analysis Of Variance atau sering dikenal ANOVA digunakan untuk menyelidiki hubungan antara variabel respon (dependen) dengan satu atau beberapa variabel prediktor (independen). ANOVA sama dengan regresi, tetapi skala data variabel independen adalah data kategori yaitu skala ordinal atau nominal. Lebih lanjut ANOVA tidak mempunyai nominal

Dalam Analisis ANOVA terdapat hipotesis masalah, Yaitu :

- $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = 0$
(rata-rata sampel tiap perlakuan sama)
- $H_1 = \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq 0$
(ada perlakuan yang rata-ratanya tidak sama)

Sementara dalam pengambilan keputusan akan didasarkan pada nilai probabilitas dan nilai F hitung, yaitu :

- a. Nilai probabilitas,
 - Jika probabilitas $\geq 0,05$, H_0 diterima
 - Jika probabilitas $\leq 0,05$, H_0 ditolak
- b. Nilai F hitung,
 - F hitung output $>$ F tabel, H_0 ditolak
 - F hitung output $<$ F tabel, H_0 diterima

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Ide Tugas Akhir

Adapun Ide studi yang diambil adalah membandingkan efisiensi antara penggunaan kedua jenis tanaman berbeda. Teknik yang digunakan adalah teknik fitoremediasi *Subsurface Flow System* (SSF) aliran vertikal guna menurunkan kandungan TSS, Nikel, Total Krom pada limbah cair elektroplating setelah dilakukan pengolahan terdahulu secara fisik dan kimia. Penulis menguji limbah cair elektroplating dikarenakan tingkat toksisitasnya sangat berbahaya dilihat dari parameter utama yaitu krom, dan nikel (Nurhasni, 2013). Digunakannya kedua jenis tanaman ini selain memiliki nilai estetika sebagai tanaman hias juga dikarenakan kemampuan Tanaman Lotus dalam menghilangkan beban pencemar melalui mekanisme koagulasi dan flokulasi (Dian Iskandar, 2010) sedangkan Tanaman Bambu Air memiliki keunggulan lain yaitu dapat tumbuh dimana saja, mudah perawatannya, dan tahan terhadap pengaruh luar.

3.2 Jenis Penelitian

Adapun jenis penelitian yang digunakan adalah dengan metode eksperimental dengan skala laboratorium.

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam jangka waktu \pm 2 hari dimana tempat pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan ITN Malang.

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Terikat

– TSS

Variabel TSS dipilih agar diketahui perubahan konsentrasi selama proses fitoremediasi.

– Nikel

Variabel Nikel dipilih agar diketahui perubahan konsentrasi selama proses fitoremediasi.

– Krom

Variabel krom dipilih agar diketahui perubahan konsentrasi selama proses fotoremediasi.

3.4.2 Variabel Bebas

– Jenis Tanaman : Bambu Air dan Lotus

– Variasi berat basah tanaman 81 gr dan 198 gr.

– Variasi laju pembebanan hidrolis 100 l/m².hr dan 210 l/m².hr.

3.4.3 Variabel Tetap

Media Tanam :

- Tanah 2 cm, pasir sedang 3,5 cm, kerikil halus 2,5 cm.

- Lotus 81 dan 198 gr

Jumlah titik = 6 titik

Jarak pertanaman = 7 cm (Yeny Dhokhikah, 2013)

- Bambu Air 81 dan 198 gr

Jumlah titik = 8 titik

Jarak pertanaman = 6 cm (Prayitno, 2014)

3.5 Alat dan Bahan Penelitian

3.5.1 Peralatan Penelitian

➤ **Bak Penampung (Reservoir)**

Bak penampung berfungsi untuk menampung dan berfungsi menyetarakan debit sesuai yang direncanakan. Terbuat dari plastik berbentuk tabung berjumlah 2 buah. Bak penampung 1 untuk laju pembebanan hidrolis 100 l/m².hari dan bak penampung 2 untuk laju pembebanan hidrolis 210 l/m².hari sama-sama bervolume 220 l.

➤ **Reaktor Uji**

Pada penelitian ini dibutuhkan 4 bak berbentuk persegi panjang dengan panjang 45 cm, lebar 30 cm dan tinggi 30 cm. Volume air dalam reaktor sebesar 10,8 L (tinggi muka air dari dasar media 8 cm). Masing-masing reaktor berisi air limbah elektroplating yang sebelumnya telah diolah secara fisik dan kimia serta ditanami Bambu Air pada 2 bak dan Lotus pada 2 bak lainnya. Masing masing reaktor diisi media tanam Tanah 2 cm, pasir 3,5 cm, kerikil halus 2,5 cm, dengan variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan organik yang telah ditentukan untuk menurunkan konsentrasi parameter uji.

➤ **Reaktor kontrol**

Pada penelitian ini dibutuhkan 2 buah bak, 1 bak untuk laju pembebanan hidrolis 100 l/m².hari dan 1 bak untuk laju pembebanan hidrolis 210 l/m².hari. Kedua bak diisi dengan limbah cair elektroplating dengan media tanam tanah 2 cm, pasir 3,5 cm, kerikil halus 2,5 cm (tanpa tanaman uji). Limbah ini sebelumnya telah diolah menggunakan koagulasi-flokulasi. Kedua reaktor berbentuk persegi panjang dengan panjang 45 cm, lebar 30 cm dan tinggi 30 cm dengan volume air dalam reaktor sebesar 10,8 L (tinggi muka air dari dasar media 8 cm).

3.5.2 Bahan Penelitian

- Limbah cair elektroplating
Air limbah yang digunakan berasal dari effluent pengolahan koagulasi dan flokulasi.
- Terdiri dari dua jenis tanaman uji yang berbeda yaitu : Tanaman Bambu Air dan Lotus.

3.6 Penelitian Pendahuluan

3.6.1 Analisa Awal

Analisa awal pada limbah cair elektroplating meliputi analisa Parameter TSS, Total Krom, dan Nikel, serta suhu dan pH.

3.6.2 Aklimatisasi

Sebelum diaplikasikan untuk penurunan ketiga parameter uji, tanaman terlebih dahulu di lakukan proses aklimatisasi. Aklimatisasi bertujuan agar tanaman dapat beradaptasi dengan lingkungan tumbuh dalam perlakuan fitoremediasi.

Adapun proses aklimatisasi yang dilakukan adalah :

- a. Persiapan media tanam sementara
- b. Pemilihan tanaman yang sehat dan segar (anakan).
- c. Pembersihan tanaman dari kontaminasi tanaman lain.
- d. Penanaman kedua jenis tanaman dalam media sementara selama 3 hari.
- e. Pemilihan tanaman uji yang sehat dan segar agar siap untuk diaplikasikan.

3.6.3 Pelaksanaan Penelitian

Proses ini dapat dilakukan setelah tanaman uji melewati proses aklimatisasi terlebih dahulu. Adapun pelaksanaan penelitian dengan teknik fitoremediasi aliran vertikal (kontinyu) adalah sebagai berikut :

- a. Pada bak penampung dimasukkan air limbah, volume disesuaikan kebutuhan masing-masing reaktor, debit dan laju pembebanan hidrolis yang ditentukan
- b. Air limbah dialirkan dari bak penampung ke dalam 10 bak SSF-Wetland, sampai masing-masing bak terisi air sebanyak 10,8 liter.
- c. Tiap reaktor ditambahkan tanaman uji (sudah diaklimatisasi) sesuai dengan berat basah tanaman yang telah ditentukan yaitu (81 dan 198 gr) dan media tanam tanah 2 cm, pasir 3,5 cm, kerikil halus 2,5 cm. Sedangkan pada reaktor kontrol hanya diisi dengan media tanam yang telah ditentukan masing-masing ketinggiannya.

Dengan komposisi masing masing reaktor sebagai berikut :

Untuk laju pembebanan hidrolis 100 l/m^2 :

Reaktor 1a : Limbah cair elektroplating 10,8 L + media tanam
(sebagai kontrol)

Reaktor 2a : Limbah cair elektroplating 10,8 L + tanaman
Bambu Air 81 gr + media tanam

Reaktor 3a : Limbah cair elektroplating 10,8 L + tanaman
Bambu Air 198 gr + media tanam

Reaktor 4a : Limbah cair elektroplating 10,8 L + tanaman
Lotus 81 gr + media tanam

Reaktor 5a : Limbah cair elektroplating 10,8 L + tanaman
Lotus 198 gr + media tanam

Untuk laju pembebanan hidrolis $210 \text{ l/m}^2 \cdot \text{hari}$:

Reaktor 1b : Limbah cair elektroplating 10,8 L + media tanam
(sebagai kontrol)

Reaktor 2a : Limbah cair elektroplating 10,8 L + tanaman
Bambu Air 81 gr + media tanam

- Reaktor 3a : Limbah cair elektroplating 10,8 L + tanaman
Bambu Air 198 gr + media tanam
- Reaktor 4a : Limbah cair elektroplating 10,8 L + tanaman
Lotus 81 gr + media tanam
- Reaktor 5a : Limbah cair elektroplating 10,8 L + tanaman
Lotus 198 gr + media tanam
- d. Air limbah elektroplating dari bak penampung dialirkan kedalam kolom bak secara gravitasi dengan kecepatan konstan.
- e. Air limbah elektroplating dibiarkan mengalir terus – menerus dengan arah aliran vertikal menurun.
- Selanjutnya analisa sampel dilakukan pada laju pembebanan hidrolis 100 l/m².hari dan 210 l/m².hari. Parameter yang dianalisis adalah TSS, Total Krom, dan Nikel. Analisis TSS dilakukan di laboratorium teknik lingkungan. Sedangkan analisis total krom dan nikel dilakukan di Lab. Terpadu universitas Negeri Surabaya.

3.7 Analisis Parameter Uji

Adapun analisis parameter uji yang dilakukan berbeda beda pada setiap parameternya yaitu sebagai berikut :

a. Analisis TSS

Metode yang digunakan adalah metode gravimetri. Adapun prinsip cara uji yaitu: Contoh uji yang telah homogen disaring dengan kertas saring yang telah ditimbang, residu yang tertahan dikeringkan sampai mencapai berat konstan pada suhu 103°C sampai dengan 105°C. Kenaikan berat saringan mewakili padatan tersuspensi total (TSS).

b. Analisis Krom Total (Cr-T)

Metode yang digunakan adalah metode spektrofotometri serapan atom (SSA) - Nyala pada kisaran kadar Cr 0,2 mg/L sampai 5,0 mg/L dan panjang gelombang 357,9 nm. Prinsip pada cara uji ini

yakni penambahan asam nitrat yang bertujuan untuk melarutkan analit logam dan menghilangkan zat-zat pengganggu yang terdapat dalam contoh uji dengan bantuan pemanas listrik, kemudian diukur dengan SSA menggunakan gas asetilen, C_2H_2 .

c. Analisis Nikel

Metode yang digunakan adalah metode spektrofotometri serapan atom (SSA) - nyala pada kisaran kadar 0,3 mg/L sampai dengan 6,0 mg/L serta panjang gelombang 232,0 nm Prinsip pada cara uji ini yakni penambahan asam nitrat yang bertujuan untuk melarutkan analit logam dan menghilangkan zat-zat pengganggu yang terdapat dalam contoh uji dengan bantuan pemanas listrik, kemudian diukur dengan SSA menggunakan gas asetilen, C_2H_2 .

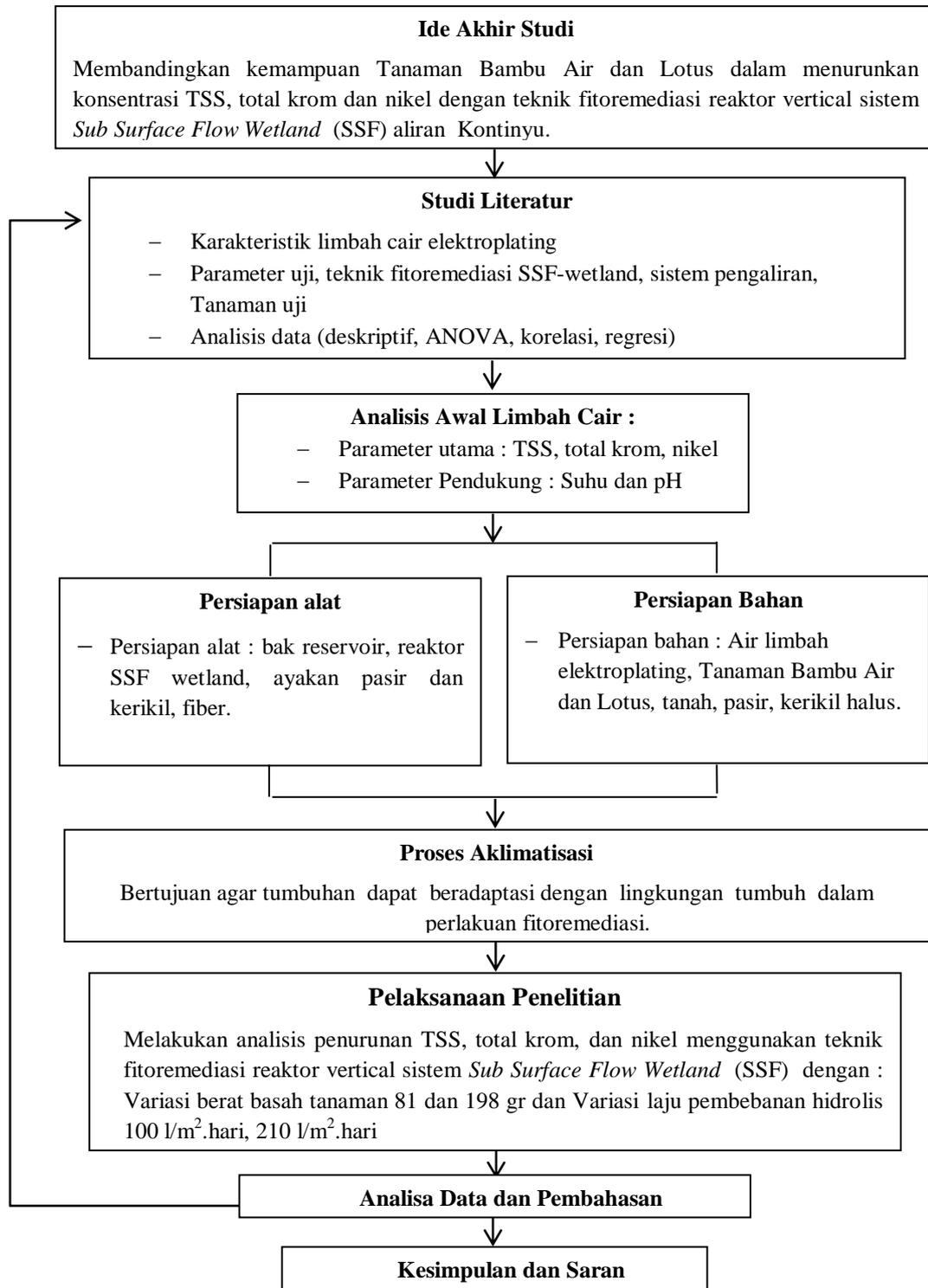
3.8 Analisa Data dan Pembahasan

Dari hasil percobaan yang didapat maka dilakukan analisa data dengan metode sebagai berikut :

- Analisis deskriptif bertujuan untuk mendapat gambaran berdasarkan gejala dan fakta yang diperoleh dari sampel penelitian yang ditampilkan dalam bentuk grafik.
- Analisis ANOVA bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nyata atau tidak (secara statistik) antara beberapa variasi perlakuan.
- Analisis korelasi bertujuan untuk mengetahui bukti empiris hubungan antara variabel yang diamati, yaitu variabel terikat (TSS, total krom, nikel, tanaman Bambu Air dan Lotus) dan variabel bebas (Variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis).
- Analisis regresi bertujuan untuk mengetahui apakah variabel berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis dapat memprediksi penurunan TSS, Total krom, dan Nikel.

3.9 Kerangka Penelitian

Adapun kerangka penelitian yang dibuat adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik limbah Cair Pelapisan Logam (Elektroplating) Kabupaten Malang setelah proses pengolahan fisik

Limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah yang berasal dari hasil pengolahan fisik yaitu proses koagulasi-flokulasi. Kondisi awal limbah elektroplating adalah sebelum limbah elektroplating dimasukkan ke dalam reaktor. Limbah elektroplating memiliki kandungan logam berat yang bersifat toksik. Sifat toksik ini berasal dari senyawa krom heksavalen, yang dapat menyebabkan pencemaran kepada mikroorganisme dan lingkungannya. Senyawa ini dapat berupa larutan, koloid maupun partikel lainnya. Selain Cr, limbah cair industri pelapisan logam mengandung logam berat antara lain Sn, Cr, Cd, Zn, Cu dan Ni. Pada penelitian ini parameter karakteristik air limbah yang di uji ialah TSS, total Krom, dan nikel yang berasal dari proses pelapisan logam menggunakan nikel dan krom. Adapun karakteristik limbah awal sebelum memasuki pengolahan SSF- wetland dapat dilihat pada tabel 4.1 dan 4.2 dibawah ini:

Tabel 4.1. Karakteristik fisik Limbah *Elektroplating* setelah proses pengolahan fisik (koagulasi – flokulasi)

No	Karakteristik Fisik	Keterangan
1.	Bahan Padat	Terlarut
2.	Bau	Berbau
3.	Warna	Kuning muda

Sumber : Hasil Pengamatan, 2018

Tabel 4.2. Karakteristik Limbah Cair *Elektroplating* setelah proses pengolahan fisik (koagulasi – flokulasi)

No	Parameter	Satuan	Konsentrasi		Standar Baku Mutu*
			Limbah awal	Limbah setelah pengolahan kimia	
1.	TSS	mg/l	45,25	1	20
2.	Total Chrom	mg/l	28,54	7,77	0,5
3.	Nikel	mg/l	20,62	10,16	1,0

Sumber : Hasil Pengamatan, 2018

* Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku mutu air limbah bagi industri dan/atau kegiatan usaha lainnya

Berdasarkan baku mutu air limbah menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku mutu air limbah bagi industri dan/atau kegiatan usaha lainnya, Hasil Analisis limbah yang dilakukan setelah melewati proses pengolahan fisik- kimia (Koagulasi – Flokulasi) diatas menunjukkan bahwa kualitas limbah sebagian belum memenuhi baku mutu dilihat dari parameter Total Chrom sebesar 7,77 mg/l dan Nikel 10,16 mg/l, sedangkan untuk parameter TSS sudah memenuhi baku mutu yaitu sebesar 1 mg/l.

4.2 Karakteristik Air Limbah Setelah Pengolahan

Penelitian dilakukan secara kontinyu dengan menggunakan reaktor Constructed Wetland yang terbuat dari kaca dengan variasi jenis tanaman, laju pembebanan hidrolis, dan berat basah tanaman. Berikut nilai dari karakteristik air limbah akhir ialah seperti pada tabel 4.3, 4.4 dan 4.5 di bawah ini:

Tabel 4.3 Konsentrasi TTS akhir air limbah setelah pengolahan

Reaktor	Tanaman Uji	Variasi Berat Basah tanaman (gr)	Variasi Laju Pembebanan Hidrolis (Liter/m ² hari)	Nilai Konsentrasi TTS akhir (mg/l)			Rata – Rata (mg/l)
				PI	PII	PIII	
Kontrol	-	-	210	1	0,75	1	0,92
			100	0,75	0,75	1	0,83
Uji 1	Bambu air	81	210	0,52	0,53	0,54	0,53
			100	0,47	0,45	0,46	0,46
		198	210	0,52	0,52	0,5	0,51
			100	0,5	0,25	0,25	0,33
Uji 2	Lotus	81	210	0,75	0,75	0,75	0,75
			100	0,5	0,25	0,25	0,33
		198	210	0,25	0,25	1	0,5
			100	0,25	0,25	0,25	0,25

Sumber : Hasil Penelitian, 2018

Tabel 4.4 Konsentrasi Nikel akhir air limbah setelah pengolahan

Reaktor	Tanaman Uji	Variasi Berat Basah tanaman (gr)	Variasi Laju Pembebanan Hidrolis (Liter/m ² hari)	Nilai Konsentrasi Nikel akhir (mg/l)			Rata – Rata (mg/l)
				PI	PII	PIII	
Kontrol 1	-	-	210	9,810	9,930	9,990	9,91
			100	9,374	9,330	9,220	9,31
Uji 1	Bambu air	81	210	8,120	8,130	8,130	8,13
			100	6,073	6,073	6,102	6,08
		198	210	7,520	7,530	7,520	7,52
			100	5,197	5,050	5,175	5,14
Uji 2	Lotus	81	210	210	9,520	9,520	9,53
			100	5,955	5,719	5,343	5,67
		198	210	8,620	8,200	8,160	8,33
			100	4,532	4,538	4,524	4,53

Sumber : Hasil Penelitian, 2018

Tabel 4.5 Konsentrasi Krom akhir air limbah setelah pengolahan

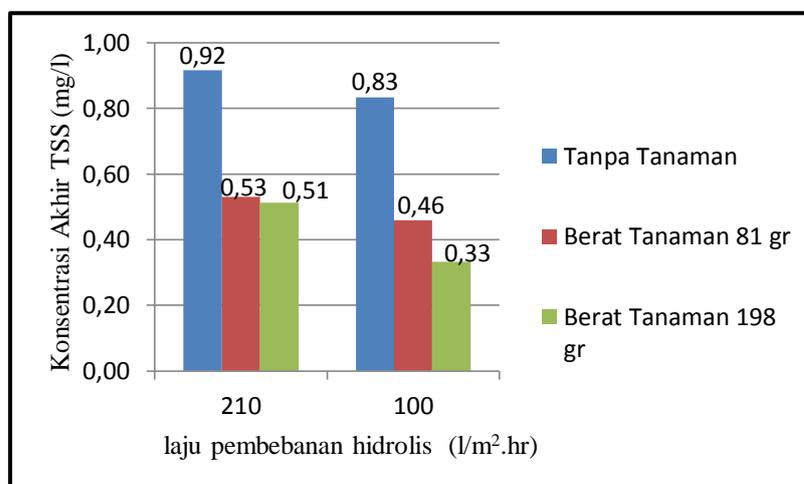
Reaktor	Tanaman Uji	Variasi Berat Basah tanaman (gr)	Variasi Laju Pembebanan Hidrolis (Liter/m ² hari)	Nilai Konsentrasi Krom akhir (mg/l)			Rata – Rata (mg/l)
				PI	PII	PIII	
Kontrol	-	-	210	6,330	6,340	6,340	6,337
			100	6,270	6,280	6,280	6,277
Uji 1	Bambu air	81	210	5,880	5,900	5,900	5,893
			100	5,130	5,120	5,160	5,137
		198	210	4,750	4,760	4,740	4,750
			100	4,580	4,580	4,600	4,587
Uji 2	Lotus	81	210	3,480	3,500	3,490	3,490
			100	4,100	4,200	4,300	4,200
		198	210	3,010	3,010	3,040	3,020
			100	3,170	3,190	3,200	3,187

Sumber : Hasil Penelitian, 2018

4.3 Analisis Deskriptif

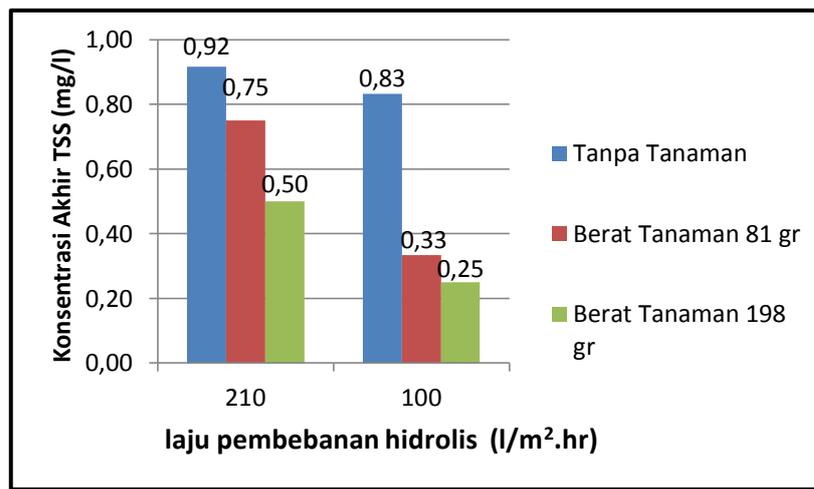
4.3.1 Analisis Penyisihan TSS

Berdasarkan pada tabel 4.3 menunjukkan bahwa nilai konsentrasi akhir TSS Pada reaktor kontinyu dengan variasi berat basah tanaman 81 gr dan 198 gr. Limbah mengalami penurunan dari variasi laju pembebanan hidrolis yang telah ditentukan. Nilai akhir TSS pada tabel tersebut diplotkan pada Grafik 4.1 dan 4.2 di bawah ini :



Grafik 4.1 Hubungan konsentrasi Akhir TSS (mg/l) terhadap laju pembebanan hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Bambu Air dan tanpa tanaman

Berdasarkan Grafik 4.1 menunjukkan bahwa konsentrasi akhir TSS dengan Tanaman Bambu Air dengan variasi berat tanaman 81 gr terjadi penurunan 0,53 mg/l menjadi 0,46 mg/l. Konsentrasi TSS dengan variasi berat tanaman 198 gr mengalami penurunan 0,51 mg/l menjadi 0,33 mg/l. Konsentrasi pada reaktor tanpa tanaman juga mengalami penurunan yaitu 0,92 mg/l menjadi 0,83 mg/l.



Grafik 4.2 Hubungan konsentrasi Akhir TSS (mg/l) terhadap Laju Pembebanan dengan reaktor menggunakan Tanaman Lotus dan tanpa tanaman

Berdasarkan Grafik 4.2 menunjukkan bahwa konsentrasi akhir TSS dengan Tanaman Lotus dengan variasi berat tanaman 81 gr terjadi penurunan 0,75 mg/l menjadi 0,33 mg/l. Konsentrasi TSS dengan variasi berat tanaman 198 gr mengalami penurunan 0,50 mg/l menjadi 0,25 mg/l. Konsentrasi pada reaktor tanpa tanaman juga mengalami penurunan 0,92 mg/l menjadi 0,93 mg/l.

Besarnya penurunan konsentrasi TSS menggunakan rumus :

$$\% \text{ removal} = \frac{(\text{Konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir})}{\text{Konsentrasi awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ removal} = \frac{(1 - 0,83)}{0,83} \times 100\%$$

$$\% \text{ removal} = 17 \%$$

Hasil dari perhitungan rumus diatas, maka nilai persentase penyisihan TSS dapat dilihat pada tabel 4.6 di bawah ini :

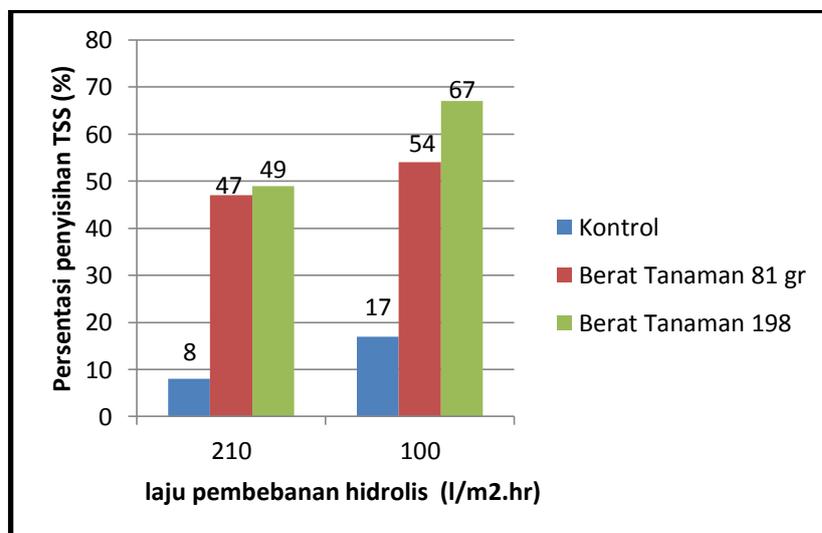
Tabel 4.6 Persentase Penyisihan TSS (%)

Reaktor	Tanaman Uji	Variasi Berat Basah tanaman (gr)	Variasi laju pembebanan hidrolis (Liter/m ² hari)	Konsentrasi Awal (mg/l)*	Konsent rasi akhir (mg/l)	%R
Kontrol	-	-	210	1	0,92	8
			100	1	0,83	17
Uji 1	Bambu air	81	210	1	0,53	47
			100	1	0,46	54
		198	210	1	0,51	49
			100	1	0,33	67
Uji 2	Lotus	81	210	1	0,75	25
			100	1	0,33	67
		198	210	1	0,5	50
			100	1	0,25	75

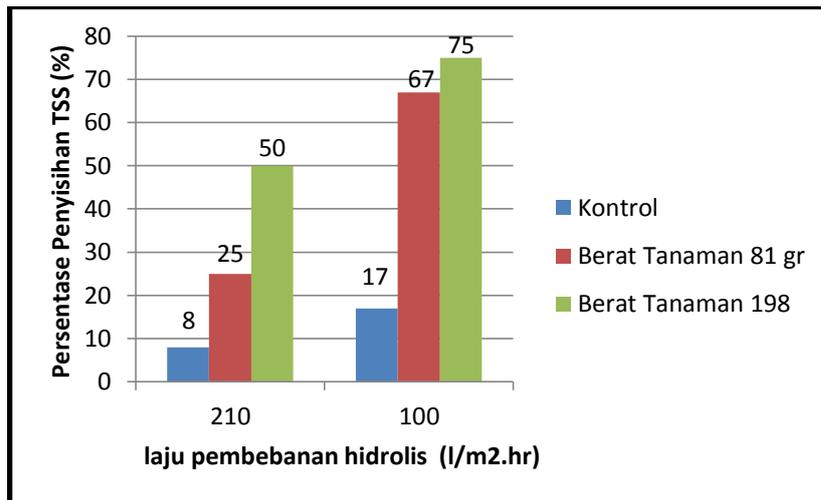
Sumber : hasil penelitian 2017

* hasil analisis limbah setelah pengolahan fisik

Berdasarkan data persentase penyisihan TSS pada Tabel 4.6, maka dapat diplotkan menjadi sebuah grafik pada grafik 4.3, dan 4.4 dibawah ini:



Grafik 4.3 Hubungan Persentase Penyisihan TSS (%) terhadap laju pembebanan hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Bambu Air dan tanpa tanaman

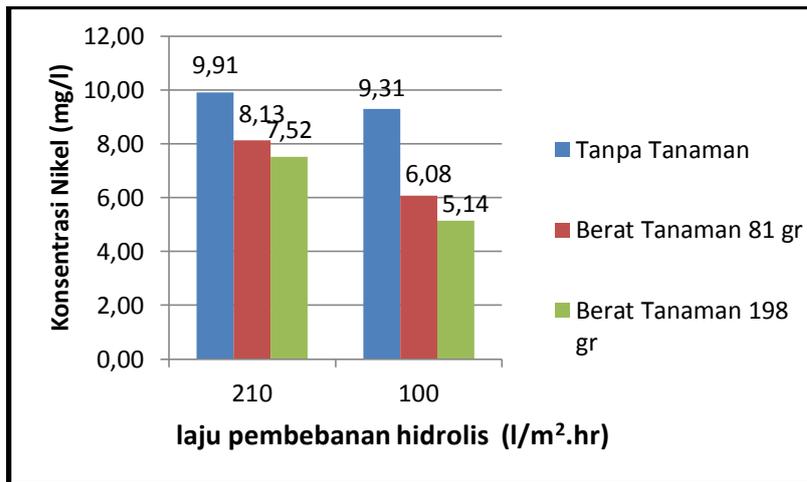


Grafik 4.4 Hubungan Persentase Penyisihan TSS (%) terhadap laju pembebanan hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Lotus dan tanpa tanaman

Berdasarkan Grafik 4.3 dan 4.4 Persentase penyisihan konsentrasi TSS tertinggi terjadi pada Tanaman Lotus dengan berat tanaman 198 gr pada laju pembebanan hidrolis 100 l/m² yaitu 75% . Sedangkan persentase penyisihan konsentrasi TSS terendah yaitu pada reaktor tanpa tanaman pada laju pembebanan hidrolis 210 l/m² yaitu 8%.

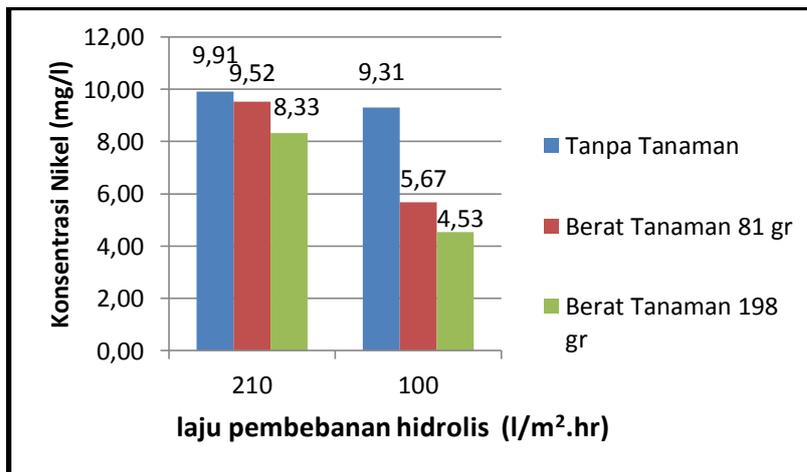
4.3.2 Analisis Penyisihan Nikel

Berdasarkan tabel 4.4 menunjukkan bahwa nilai konsentrasi akhir Nikel Pada reaktor kontinyu, dengan variasi berat basah tanaman 81 gr dan 198 gr dan reaktor tanpa tanaman air limbah mengalami penurunan dan kenaikan dari variasi laju pembebanan hidrolis yang telah ditentukan. Nilai akhir Nikel pada tabel tersebut diplotkan pada Grafik 4.5 dan 4.6 di bawah ini:



Grafik 4.5 Hubungan konsentrasi Akhir Nikel (mg/l) terhadap laju pembebanan hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Bambu Air dan tanpa tanaman

Berdasarkan Grafik 4.5 menunjukkan bahwa konsentrasi akhir Nikel dengan Tanaman Bambu Air dengan variasi berat tanaman 81 gr terjadi penurunan 8,13 mg/l menjadi 6,08 mg/l. Konsentrasi Nikel dengan variasi berat tanaman 198 gr mengalami penurunan 7,52 mg/l menjadi 5,14 mg/l. Konsentrasi pada reaktor tanpa tanaman juga mengalami penurunan yaitu 9,91 mg/l menjadi 9,31 mg/l.



Grafik 4.6 Hubungan konsentrasi Akhir Nikel (mg/l) terhadap laju pembebanan hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Lotus dan tanpa tanaman

Berdasarkan Grafik 4.6 menunjukkan bahwa konsentrasi akhir TSS dengan Tanaman Lotus dengan variasi berat tanaman 81 gr terjadi penurunan 8,33 mg/l menjadi 5,67 mg/l. Konsentrasi TSS dengan variasi berat tanaman 198 gr mengalami penurunan 8,33 mg/l menjadi 4,53 mg/l. Konsentrasi pada reaktor tanpa tanaman juga mengalami penurunan 9,91 mg/l menjadi 9,31 mg/l.

Besarnya penurunan konsentrasi Nickel menggunakan rumus :

$$\% \text{ removal} = \frac{(\text{Konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir})}{\text{Konsentrasi awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ removal} = \frac{(10,16 - 9,31)}{10,16} \times 100\%$$

$$\% \text{ removal} = 8,37 \%$$

Hasil dari perhitungan rumus diatas, maka nilai persentase penyisihan Nickel dapat dilihat pada tabel 4.7 di bawah ini :

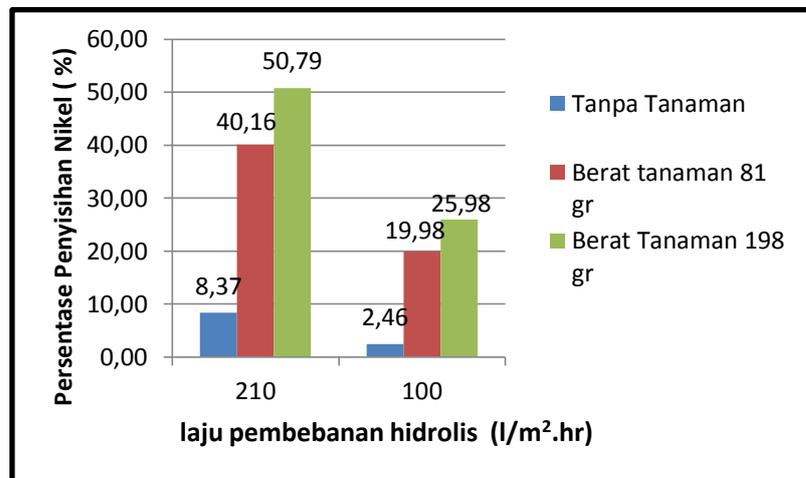
Tabel 4.7 Persentase Penyisihan Nickel (%)

Reaktor	Tanaman Uji	Variasi Berat Basah tanaman (gr)	Variasi laju pembebanan hidrolis (L/m ² .hari)	Konsentrasi Awal (mg/l)*	Konsentrasi akhir (mg/l)	%R
Kontrol	-	-	210	10,16	9,31	8,37
			100	10,16	9,91	2,46
Uji 1	Bambu air	81	210	10,16	6,08	40,16
			100	10,16	8,13	19,98
		198	210	10,16	5,00	50,79
			100	10,16	7,52	25,98
Uji 2	Lotus	81	210	10,16	5,34	47,41
			100	10,16	9,53	6,20
		198	210	10,16	4,52	55,47
			100	10,16	8,16	19,69

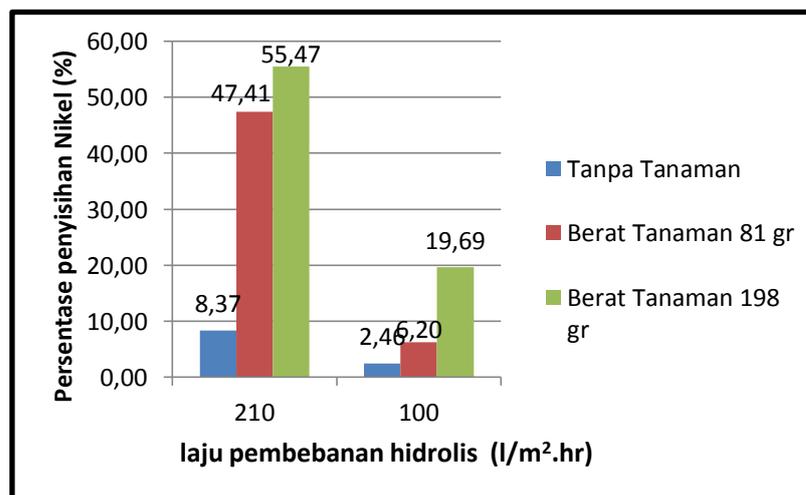
Sumber : hasil penelitian 2018

* hasil analisis limbah setelah pengolahan koagulasi flokulasi

Berdasarkan data persentase penyisihan Nikel pada Tabel 4.4, maka dapat diplotkan menjadi sebuah grafik pada grafik 4.7 dan 4.8 dibawah ini:



Grafik 4.7 Hubungan Persentase Penyisihan Nikel (%) terhadap laju pembebanan hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Bambu Air dan tanpa tanaman

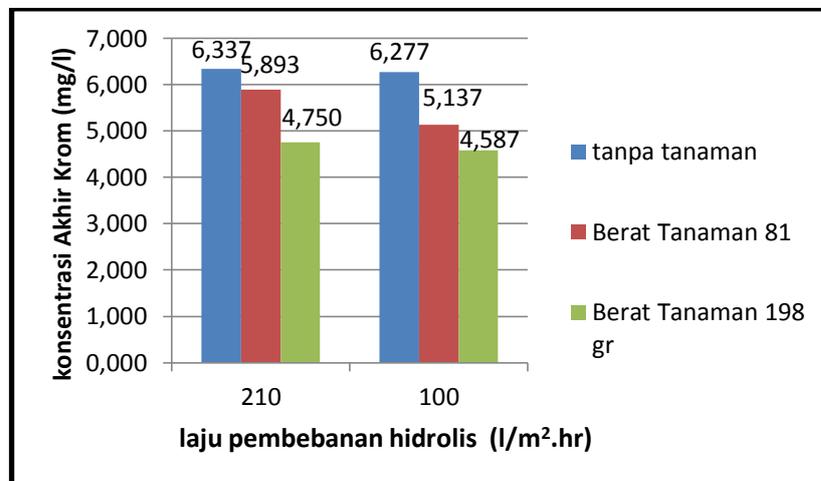


Grafik 4.8 Hubungan Persentase Penyisihan Nikel (%) terhadap laju pembebanan hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Lotus dan tanpa tanaman

Berdasarkan Grafik 4.7 dan 4.8 Persentase penyisihan konsentrasi TSS tertinggi terjadi pada Tanaman Lotus dengan berat tanaman 198 gr pada Laju pembebanan hidrolis 210 l/m^2 yaitu 55,47% . Sedangkan persentase penyisihan konsentrasi TSS terendah yaitu pada reaktor tanpa tanaman pada laju pembebanan hidrolis 100 l/m^2 yaitu 2,48%.

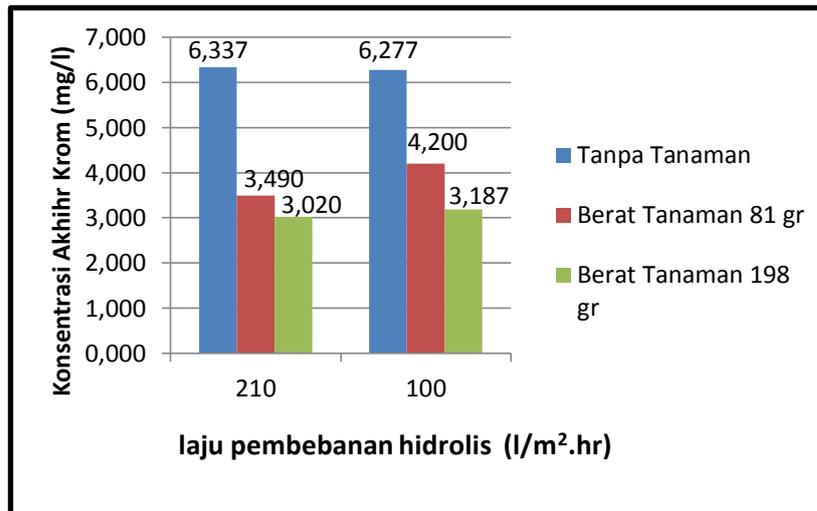
4.3.3 Analisis Penyisihan Krom

Berdasarkan pada tabel 4.5 menunjukkan bahwa nilai konsentrasi akhir Krom pada reaktor kontinyu, dengan variasi berat basah tanaman 81 gr dan 198 gr dan reaktor tanpa tanaman, limbah mengalami penurunan dan kenaikan dari variasi laju pembebanan hidrolis yang telah ditentukan. Nilai akhir Nikel pada tabel tersebut diplotkan pada Grafik 4.9 dan 4.10 di bawah ini:



Grafik 4.9 Hubungan konsentrasi Akhir Krom (mg/l) terhadap laju pembebanan hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Bambu Air dan tanpa tanaman

Berdasarkan Grafik 4.9 menunjukkan bahwa konsentrasi akhir Krom dengan Tanaman Bambu Air dengan variasi berat tanaman 81 gr terjadi penurunan 5,893 mg/l menjadi 5,137 mg/l. Konsentrasi Krom dengan variasi berat tanaman 198 gr mengalami penurunan 4,750 mg/l menjadi 4,587 mg/l. Konsentrasi pada reaktor tanpa tanaman juga mengalami penurunan yaitu 6,337 mg/l menjadi 6,277 mg/l.



Grafik 4.10 Hubungan konsentrasi Akhir Krom (mg/l) terhadap laju pembebanan hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Lotus dan tanpa tanaman

Berdasarkan Grafik 4.10 menunjukkan bahwa konsentrasi akhir Krom dengan Tanaman Lotus dengan variasi berat tanaman 81 gr terjadi kenaikan 3,490 mg/l menjadi 4,200 mg/l. Konsentrasi Krom dengan variasi berat tanaman 198 gr mengalami kenaikan 3,020 mg/l menjadi 3,187 mg/l. Sedangkan konsentrasi pada reaktor tanpa tanaman mengalami penurunan 6,337 mg/l menjadi 6,277 mg/l.

Besarnya penurunan konsentrasi Krom menggunakan rumus :

$$\% \text{ removal} = \frac{(\text{Konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir})}{\text{Konsentrasi awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ removal} = \frac{(10,16 - 19,31)}{10,16} \times 100\%$$

$$\% \text{ removal} = 8,37 \%$$

Hasil dari perhitungan rumus diatas, maka nilai persentase penyisihan Krom dapat dilihat pada tabel 4.8 di bawah ini :

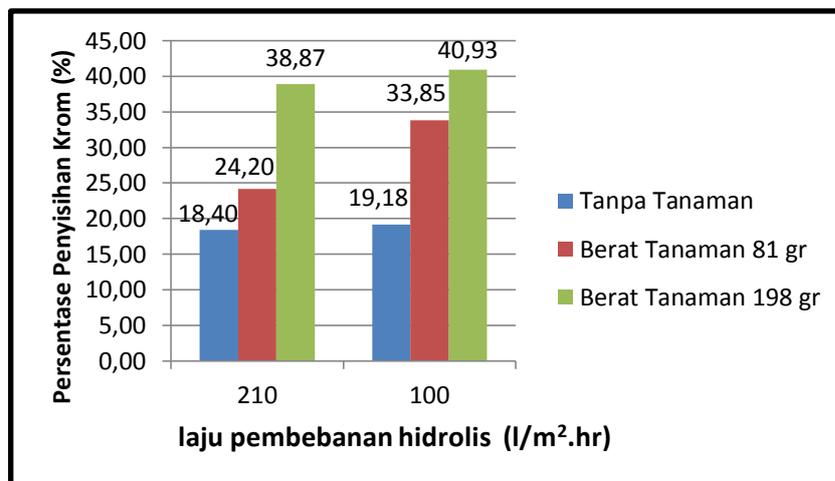
Tabel 4.8 Persentase Penyisihan Krom (%)

Reaktor	Tanaman Uji	Variasi Berat Basah tanaman (gr)	Variasi Laju Pembebanan Hidrolis (L/m ² hari)	Konsentrasi Awal (mg/l)*	Konsentrasi akhir (mg/l)	%R
Kontrol	-	-	210	7,77	6,34	18,40
			100	7,77	6,28	19,18
Uji 1	Bambu air	81	210	7,77	5,89	24,20
			100	7,77	5,14	33,85
		198	210	7,77	4,75	38,87
			100	7,77	4,59	40,93
Uji 2	Lotus	81	210	7,77	3,49	55,08
			100	7,77	4,20	45,95
		198	210	7,77	3,02	61,13
			100	7,77	3,19	58,94

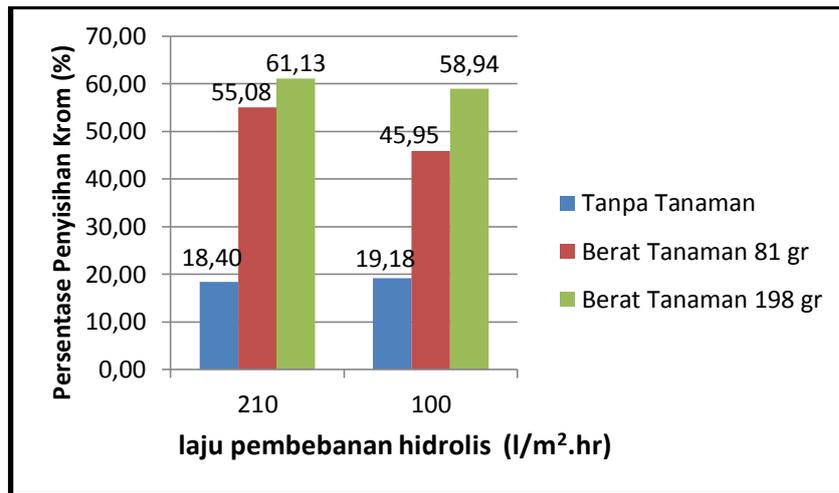
Sumber : hasil penelitian 2017

* hasil analisis limbah setelah pengolahan fisik

Berdasarkan data persentase penyisihan krom pada Tabel 4.8, maka dapat diplotkan menjadi sebuah grafik pada grafik 4.11 dan 4.12 dibawah ini:



Grafik 4.11 Hubungan persentase penyisihan Total Kkrom (%) terhadap dengan reaktor menggunakan Tanaman Bambu Air dan tanpa tanaman



Grafik 4.12 Hubungan Persentase Penyisihan Total Krom (%) terhadap laju pembebanan hidrolis dengan reaktor menggunakan Tanaman Lotus dan tanpa tanaman

Berdasarkan Grafik 4.11 dan 4.12 Persentase penyisihan konsentrasi Krom tertinggi terjadi pada Tanaman Lotus dengan berat tanaman 198 gr pada laju pembebanan hidrolis 210 l/m² yaitu 61,13% . Sedangkan persentase penyisihan konsentrasi Krom terendah yaitu pada reaktor tanpa tanaman pada laju pembebanan hidrolis 210 l/m² yaitu 18,40%.

4.4 Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan untuk menelaah lebih lanjut tentang gejala-gejala yang berkaitan dengan angka. Analisis ini juga dilakukan untuk mengetahui hubungan yang kuat antara variabel prediktor terhadap variabel respon. Hasil keluaran dari analisis ini adalah berupa angka yang harus diinterpretasikan. Analisis statistik yang dilakukan adalah analisis korelasi, regresi dan ANOVA two-way. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan *Software* bantu Minitab 16.

4.4.1 Analisis Korelasi

Bertujuan untuk mengetahui bukti empiris hubungan antara variabel yang diamati, yaitu variabel terikat (TSS, Total Krom, Nikel, tanaman bambu air dan lotus) dan variabel bebas (Variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis). Dalam Analisa korelasi terdapat H_0 (Tidak ada Korelasi antara dua variabel) dan H_1 (ada korelasi antara dua variabel).

Pengambilan keputusan :

- Jika probabilitas $\geq 0,05$, maka H_0 diterima
- Jika probabilitas $< 0,05$, maka H_0 ditolak

4.4.1.1 Hasil Analisis Korelasi Untuk Presentase Penyisihan TSS

Hasil analisis korelasi untuk presentase penyisihan TSS terlihat pada tabel 4.9, dan 4.10.

Tabel 4.9 Analisis Korelasi persentase penyisihan TSS (%R) dengan Perbandingan berat basah tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) pada Tanaman Bambu Air.

Correlations: %R; BB; HLR		
	%R	BB
BB	0,481 0,519	
HLR	-0,802 0,198	0,000 1,000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Keputusan :

Berdasarkan Tabel 4.9 menunjukkan bahwa :

Correlations: %R; BB
Pearson correlation of %R and BB = 0,481 P-Value = 0,519

Korelasi antara penyisihan TSS (%R) dengan berat basah tanaman (BB) adalah 0,48. Hubungan antara penyisihan TSS dengan berat basah tanaman sedang, karena nilai koefisien korelasinya antara 0,40 – 0,599 (Bagus, 2016). Hubungan kedua variabel searah, hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi. Nilai probabilitas antara persentase penyisihan TSS dengan berat basah tanaman menunjukkan angka diatas 0,05 yaitu 0,519 ($0,519 \geq 0,05$), sehingga H_0 diterima artinya terdapat hubungan yang lemah antara persentase penyisihan TSS dengan berat basah tanaman.

Results for: Worksheet 3

Correlations: %R; HLR

Pearson correlation of %R and HLR = -0,802
P-Value = 0,198

Korelasi antara persen penyisihan TSS (%R) dengan laju pembebanan hidrolis adalah -0,802. Hubungan kedua variabel tidak searah, hal ini ditunjukkan dengan nilai negatif pada nilai koefisien korelasi. Keputusan yang diambil adalah menerima hipotesis awal (H_0) karena nilai probabilitasnya (P-value) menunjukkan angka lebih dari atau sama dengan 0,05 yaitu 0,198 ($0,198 \geq 0,05$), artinya korelasi antara persentase penyisihan TSS dengan laju pembebanan hidrolis lemah.

Tabel 4.10 Analisis Korelasi persen penyisihan TSS (%R) dengan berat basah tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) pada Tanaman Lotus

Correlations: %R; BB; HLR

	%R	BB
BB	0,431 0,569	
HLR	-0,875 0,125	0,000 1,000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Keputusan :

Berdasarkan Tabel 4.10 menunjukkan bahwa :

Correlations: %R; BB Pearson correlation of %R and BB = 0,431 P-Value = 0,569
--

Korelasi antara penyisihan TSS (%R) dengan berat basah tanaman (BB) adalah 0,431. hubungan antara penyisihan TSS dengan berat basah tanaman sedang, karena nilai koefisien korelasinya antara 0,40 – 0,599 (Bagus, 2016). Hubungan kedua variabel searah, hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi. Nilai probabilitas antara persentase penyisihan TSS dengan berat basah tanaman menunjukkan angka diatas 0,05 yaitu 0,569 ($0,569 \geq 0,05$), sehingga H_0 diterima artinya terdapat hubungan yang lemah antara persentase penyisihan TSS dengan berat basah tanaman.

Correlations: %R; HLR Pearson correlation of %R and HLR = -0,875 P-Value = 0,125

Korelasi antara persen penyisihan TSS (%R) dengan laju pembebanan hidrolis adalah -0,875. Hubungan kedua variabel tidak searah, hal ini ditunjukkan dengan nilai negatif pada nilai koefisien korelasi. Keputusan yang diambil adalah menerima hipotesis awal (H_0) karena nilai probabilitasnya (P-value) menunjukkan angka lebih dari atau sama dengan 0,05 yaitu 0,125 ($0,125 \geq 0,05$), artinya korelasi antara persentase penyisihan TSS dengan laju pembebanan hidrolis lemah.

4.4.1.2 Hasil Analisis Korelasi Untuk Persentase Penyisihan Nikel

Hasil analisis korelasi untuk presentasi penyisihan Nikel (%R) terhadap berat basah tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) pada tabel pada tabel 4.11 dan 4.12.

Tabel 4.11 Analisis Korelasi persentase penyisihan Nikel (%R) dengan berat basah tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) pada Tanaman Bambu Air

Correlations: %R; BB; HLR		
	%R	BB
BB	0,345	1,000
HLR	0,934	0,066

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Keputusan :

Berdasarkan Tabel 4.11 menunjukkan bahwa :

Correlations: %R; BB
Pearson correlation of %R and BB = 0,345 P-Value = 0,655

Korelasi antara penyisihan Nikel (%R) dengan berat basah tanaman adalah 0,345. Hubungan antara penyisihan Nikel dengan berat basah tanaman rendah, karena nilai koefisien korelasinya antara 0,20 – 0,399 (Bagus, 2016). Hubungan kedua variabel searah, hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi. Nilai probabilitas antara persentase penyisihan nikel dengan berat basah tanaman menunjukkan angka diatas 0,05 yaitu 0,655 ($0,655 \geq 0,05$), sehingga H_0 diterima artinya terdapat hubungan yang lemah antara persentase penyisihan Nikel dengan berat basah tanaman.

Correlations: %R; HLR
Pearson correlation of %R and HLR = 0,934 P-Value = 0,066

Korelasi antara persen penyisihan Nikel dengan laju pembebanan hidrolis adalah 0,934. Hubungan kedua variabel searah, hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi. Keputusan yang diambil adalah menerima hipotesis awal (H_0) karena nilai probabilitasnya (P-value) menunjukkan angka lebih dari atau sama dengan 0,05 yaitu 0,066 ($0,066 \geq 0,05$), artinya korelasi antara persentase penyisihan Nikel dengan laju pembebanan hidrolis lemah.

Tabel 4.12 Analisis Korelasi persen penyisihan Nikel (%R) dengan berat basah tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) pada Tanaman Lotus

Correlations: %R; BB; HLR		
	%R	BB
BB	-0,292 0,708	
HLR	0,956 0,044	0,000 1,000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Keputusan :

Berdasarkan Tabel 4.12 menunjukkan bahwa :

Correlations: %R; BB
Pearson correlation of %R and BB = -0,292 P-Value = 0,708

Korelasi antara penyisihan Nikel (%R) dengan berat basah tanaman adalah -0,292. Hubungan antara penyisihan Nikel dengan berat basah tanaman rendah, karena nilai koefisien korelasinya antara 0,20 – 0,399 (Bagus, 2016). Hubungan kedua variabel tidak searah, hal ini ditunjukkan dengan nilai negatif pada nilai koefisien korelasi. Nilai probabilitas antara persentase penyisihan nikel dengan berat basah tanaman menunjukkan angka diatas 0,05 yaitu 0,708 ($0,708 > 0,05$), sehingga H_0 ditolak artinya terdapat hubungan yang lemah antara persentase penyisihan Nikel dengan berat basah tanaman.

Correlations: %R; HLR
 Pearson correlation of %R and HLR = 0,956
 P-Value = 0,044

Korelasi antara persen penyisihan Nikel dengan laju pembebanan hidrolis adalah 0,956. Hubungan kedua variabel searah, hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi. Keputusan yang diambil adalah menolak hipotesis awal (H_0) karena nilai probabilitasnya (P-value) menunjukkan angka dibawah 0,05 yaitu 0,044 ($0,044 < 0,05$), artinya korelasi antara persentase penyisihan nikel dengan laju pembebanan hidrolis kuat.

4.4.1.3 Hasil Analisis Korelasi Untuk Presentasi Penyisihan Krom

Hasil analisis korelasi untuk presentasi penyisihan Krom terhadap berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis (HLR) pada tabel pada tabel 4.13 dan 4.14 dibawah ini.

Tabel 4.13 Analisis Korelasi persen penyisihan Krom (%R) dengan berat basah tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) pada Tanaman Bambu Air

Correlations: %R; BB; HLR		
	%R	BB
BB	0,842 0,158	
HLR	-0,453 0,547	0,000 1,000
Cell Contents: Pearson correlation P-Value		

Keputusan :

Berdasarkan Tabel 4.13 menunjukkan bahwa :

Correlations: %R; BB

Pearson correlation of %R and BB = 0,842
P-Value = 0,158

Korelasi antara penyisihan Nikel dengan berat berat basah tanaman adalah 0,842. Hubungan antara penyisihan Krom dengan berat basah tanaman sangat kuat, karena nilai koefisien korelasinya antara 0,80 – 0,1000 (Bagus, 2016). Hubungan kedua variabel searah, hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi. Nilai probabilitas antara persentase penyisihan Krom dengan berat basah tanaman menunjukkan angka diatas 0,05 yaitu 0,158 ($0,158 \geq 0,05$), sehingga H_0 diterima k artinya terdapat hubungan yang lemah antara persentase penyisihan Krom dengan berat basah tanaman.

Correlations: %R; HLR

Pearson correlation of %R and HLR = -0,453
P-Value = 0,547

Korelasi antara persen penyisihan Krom dengan laju pembebanan hidrolis adalah -0,453. Hubungan kedua variabel Tidak Searah, hal ini ditunjukkan dengan nilai negatif pada nilai koefisien korelasi. Keputusan yang diambil adalah menerima hipotesis awal (H_0) karena nilai probabilitasnya (P-value) menunjukkan angka diatas 0,05 ($0,547 \geq 0,05$), artinya korelasi antara persentase penyisihan Krom dengan laju pembebanan hidrolis lemah.

Tabel 4.14 Analisis Korelasi persen penyisihan Krom (%R) dengan berat basah tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) pada Tanaman Lotus

Correlations: %R; BB; HLR		
	%R	BB
BB	0,820	
	0,180	
HLR	0,488	0,000
	0,512	1,000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Keputusan :

Berdasarkan Tabel 4.14 menunjukkan bahwa :

Correlations: %R; BB	
Pearson correlation of %R and BB = 0,820	
P-Value = 0,180	

Korelasi antara penyisihan Krom dengan berat basah tanaman adalah 0,820. hubungan antara penyisihan Krom dengan berat basah tanaman sangat kuat, karena nilai koefisien korelasinya antara 0,80 – 0,1000 (Bagus, 2016). Hubungan kedua variabel searah, hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi. Nilai probabilitas antara persentase penyisihan Krom dengan berat basah tanaman menunjukkan angka diatas 0,05 yaitu 0,180 ($0,180 \geq 0,05$), sehingga H_0 diterima artinya terdapat hubungan yang lemah antara persentase penyisihan Krom dengan berat basah tanaman.

Correlations: %R; HLR	
Pearson correlation of %R and HLR = 0,488	
P-Value = 0,512	

Korelasi antara persen penyisihan Nikel dengan laju pembebanan hidrolis adalah 0,488 Hubungan kedua variabel searah, hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi. Keputusan yang diambil adalah menerima hipotesis awal (H_0) karena nilai probabilitasnya (P-value) menunjukkan angka diatas 0,05

yaitu 0,512 ($0,512 \geq 0,05$), artinya korelasi antara persentase penyisihan nikel dengan laju pembebanan hidrolis lemah.

4.4.2 Analisis Anova Two-Way

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi perlakuan dalam persentase penyisihan TSS, Ni, dan Total Krom maka dilakukan analisis dengan menggunakan uji ANOVA dua faktor. Analisis ANOVA ini akan menguji apakah semua perlakuan mempunyai rata – rata yang sama. Persentase penyisihan TSS, Nikel, dan Total Krom akan mewakili variabel respon sedangkan variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis akan mewakili variabel prediktor. Pada hasil uji ANOVA yang dijadikan indikator adalah jika nilai semua perlakuan sama atau identik, maka berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis dapat dikatakan tidak mempengaruhi nilai persentase penurunan TSS, Nikel dan Total Krom.

Dalam analisis ANOVA terdapat hipotesis masalah yaitu :

- $H_0 = 1 = 2 = 3 = 4 = 5 = 6$ (identik)
- $H_1 = 1 \neq 2 \neq 3 \neq 4 \neq 5 \neq 6$ (tidak identik)

Sementara dalam pengambilan keputusan akan didasarkan pada nilai probabilitasnya dan nilai F hitung, yaitu :

1. Nilai Probabilitas
 - Jika probabilitas $\geq 0,05$, H_0 diterima
 - Jika probabilitas $\leq 0,05$, H_0 ditolak
2. Nilai F hitung
 - 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

4.4.2.1 Hasil Analisis Anova Untuk Persentase Penyisihan TSS

Hasil Uji Anova terhadap persentase penyisihan TSS dapat dilihat pada tabel 4.15 dan 4.16

Tabel 4.15 Analisa Anova Persentase Penyisihan TSS Pada Tanaman Bambu Air

Two-way ANOVA: %R versus BB; HLR					
Source	DF	SS	MS	F	P
BB	1	56,25	56,25	1,86	0,403
HLR	1	156,25	156,25	5,17	0,264
Error	1	30,25	30,25		
Total	3	242,75			

S = 5,5 R-Sq = 87,54% R-Sq(adj) = 62,62%

Keputusan :

Untuk taraf signifikansi α sebesar 5% maka dari tabel distribusi F Berat Basah Tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) didapat $F_{(0,05.1.1)} = 161$. Nilai F hitung *output* Berat Basah Tanaman dan laju pembebanan hidrolis adalah 1,86 dan 5,17. Berdasarkan nilai $F < F$ tabel dan nilai $P \geq$ pada variasi Berat Basah Tanaman dan laju pembebanan hidrolis, maka keputusan yang diambil yaitu perlakuan tersebut identik atau tidak terdapat perbedaan yang nyata antara Berat Basah Tanaman dan laju pembebanan hidrolis pada Tanaman Bambu Air.

Tabel 4.16 Analisa Anova Persentase Penyisihan TSS Pada Tanaman Lotus

Two-way ANOVA: %R versus BB; HLR					
Source	DF	SS	MS	F	P
BB	1	272,25	272,25	3,77	0,303
HLR	1	1122,25	1122,25	15,53	0,158
Error	1	72,25	72,25		
Total	3	1466,75			

S = 8,5 R-Sq = 95,07% R-Sq(adj) = 85,22%

Keputusan :

Untuk taraf signifikansi α sebesar 5% maka dari tabel distribusi F Berat Basah Tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) didapat $F_{(0,05.1.1)} = 161$. Nilai F hitung *output* Berat Basah Tanaman dan laju pembebanan hidrolis adalah 3,77 dan 15,53. Berdasarkan nilai $F < F$ tabel dan nilai $P \geq$ pada variasi Berat Basah

Tanaman dan laju pembebanan hidrolis, maka keputusan yang diambil yaitu perlakuan tersebut identik atau tidak terdapat perbedaan yang nyata antara Berat Basah Tanaman dan laju pembebanan hidrolis pada Tanaman Lotus.

4.4.2.2 Hasil Analisis Anova Untuk Persentase Penyisihan Nikel

Hasil Uji Anova terhadap persentase penyisihan Nikel dapat dilihat pada tabel 4.17 dan 4.18

Tabel 4.17 Analisa Anova Persentase Penyisihan Nikel Pada Tanaman Bambu Air

Two-way ANOVA: %R versus BB; HLR					
Source	DF	SS	MS	F	P
BB	1	69,171	69,171	12,93	0,173
HLR	1	505,807	505,807	94,54	0,065
Error	1	5,350	5,350		
Total	3	580,328			

S = 2,313 R-Sq = 99,08% R-Sq(adj) = 97,23%

Keputusan :

Untuk taraf signifikansi α sebesar 5% maka dari tabel distribusi F Berat Basah Tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) didapat $F_{(0,05.1.1)} = 161$. Nilai F hitung *output* Berat Basah Tanaman dan laju pembebanan hidrolis adalah 12,93 dan 94,54. Berdasarkan nilai $F < F$ tabel dan nilai $P \geq p$ pada variasi Berat Basah Tanaman dan laju pembebanan hidrolis, maka keputusan yang diambil yaitu perlakuan tersebut identik atau tidak terdapat perbedaan yang nyata antara Berat Basah Tanaman dan laju pembebanan hidrolis pada Tanaman Bambu Air.

Tabel 4.18 Analisa Anova Persentase Penyisihan Nikel Pada Tanaman Lotus

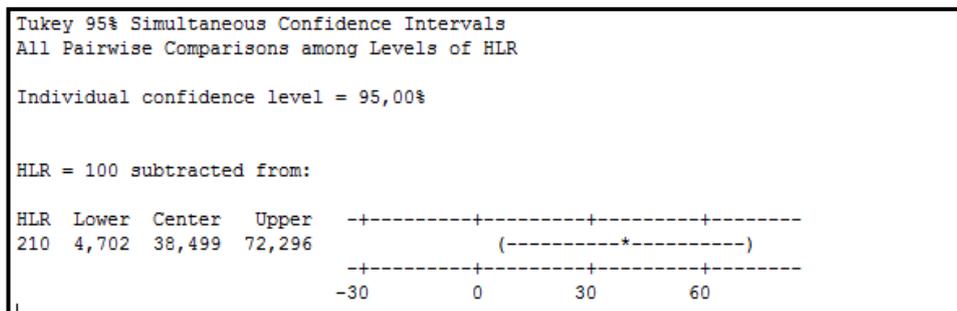
Two-way ANOVA: %R versus BB; HLR					
Source	DF	SS	MS	F	P
BB	1	116,05	116,05	15,78	0,157
HLR	1	1482,17	1482,17	201,58	0,045
Error	1	7,35	7,35		
Total	3	1605,58			

S = 2,712 R-Sq = 99,54% R-Sq(adj) = 98,63%

Keputusan :

Untuk taraf signifikansi α sebesar 5% maka dari tabel distribusi F Berat Basah Tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) didapat $F_{(0,05.1.1)} = 161$. Nilai F hitung *output* Berat Basah Tanaman dan laju pembebanan hidrolis adalah 12,93 dan 94,54. nilai probabilitas Berat Basah Tanaman dan laju pembebanan hidrolis adalah 0,157 dan 0,045. Berdasarkan nilai $F < F$ tabel dan nilai $P \geq 0,05$ pada variasi Berat Basah Tanaman maka keputusan yang diambil yaitu perlakuan tersebut identik atau tidak terdapat perbedaan yang nyata antara variasi Berat Basah Tanaman terhadap penyisihan Nikel menggunakan Tanaman Lotus. Sedangkan pada variasi laju pembebanan hidrolis $F > F$ tabel dan nilai $P \leq 0,05$, maka keputusan yang diambil yaitu perlakuan tersebut tidak identik atau terdapat perbedaan yang nyata antara variasi laju pembebanan hidrolis terhadap penyisihan Nikel.

Tabel 4.19 Uji Tukey Variasi Laju Pembebanan Hidrolis dengan persentase penyisihan nikel dengan Tanaman Lotus



Keputusan :

Dari tabel 4.19 menunjukkan bahwa, nilai laju pembebanan hidrolis yang memiliki perbedaan yang signifikan terjadi pada laju pembebanan hidrolis 210 l/m².hari sebesar 72,296. Artinya bahwa pada laju pembebanan hidrolis 210 l/m².hari berbeda nyata dalam menurunkan konsentrasi Nikel menggunakan Tanaman Lotus.

4.4.2.3 Hasil Analisis Anova Untuk Persentase Penyisihan Krom

Hasil Uji Anova terhadap persentase penyisihan Krom dapat dilihat pada tabel 4.20 dan 4.21.

Tabel 4.20 Analisa Anova Persentase Penyisihan Krom Pada Tanaman Bambu Air

Two-way ANOVA: %R versus BB; HLR					
Source	DF	SS	MS	F	P
BB	1	118,334	118,334	8,21	0,214
HLR	1	34,296	34,296	2,38	0,366
Error	1	14,412	14,412		
Total	3	167,041			

S = 3,796 R-Sq = 91,37% R-Sq(adj) = 74,12%

Keputusan :

Untuk taraf signifikansi α sebesar 5% maka dari tabel distribusi F Berat Basah Tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) didapat $F_{(0,05.1.1)} = 161$. Nilai F hitung *output* Berat Basah Tanaman dan laju pembebanan hidrolis adalah 8,21 dan 2,38. Berdasarkan nilai $F < F$ tabel dan nilai $P \geq 0,05$ pada variasi Berat Basah Tanaman dan laju pembebanan hidrolis, maka keputusan yang diambil yaitu perlakuan tersebut identik atau tidak terdapat perbedaan yang nyata antara Berat Basah Tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) pada Tanaman Bambu Air.

Tabel 4.21 Analisa Anova Persentase Penyisihan Krom Pada Tanaman Lotus

Two-way ANOVA: %R versus BB; HLR					
Source	DF	SS	MS	F	P
BB	1	90,693	90,6934	7,53	0,222
HLR	1	32,073	32,0731	2,66	0,350
Error	1	12,046	12,0461		
Total	3	134,813			

S = 3,471 R-Sq = 91,06% R-Sq(adj) = 73,19%

Keputusan :

Untuk taraf signifikansi α sebesar 5% maka dari tabel distribusi F Berat Basah Tanaman dan laju pembebanan hidrolis didapat $F_{(0,05.1.1)} = 161$. Nilai F hitung *output* Berat Basah Tanaman dan laju pembebanan hidrolis adalah 7,53 dan 2,66. Berdasarkan nilai $F < F$ tabel dan nilai $P \geq 0,05$ pada variasi Berat Basah Tanaman dan laju pembebanan hidrolis, maka keputusan yang diambil yaitu perlakuan tersebut identik atau tidak terdapat perbedaan yang nyata antara Berat Basah Tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) pada Tanaman Lotus

4.4.3 Analisis Regresi

Analisis regresi digunakan untuk mengetahui bagaimana variabel dependen/kriteria dapat diprediksikan melalui variabel independen atau variabel prediktor, secara individual. Dampak dari penggunaan analisis regresi dapat digunakan untuk memutuskan apakah naik dan menurunnya variabel dependen dapat dilakukan dengan cara menaikkan dan menurunkan keadaan variabel independen, atau meningkatkan keadaan variabel dependen dapat dilakukan dengan meningkatkan variabel independen/dan sebaliknya.

Pada Analisis regresi juga diperlukan beberapa pengujian, yaitu :

Uji T yang digunakan untuk mengetahui signifikansi koefisien dari variabel prediktor. Uji T mempunyai hipotesis bahwa :

H_0 = koefisien regresi tidak signifikan.

H_1 = koefisien regresi signifikan.

Dalam pengambilan keputusan, uji T 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.

Sementara dasar pengambilan keputusan dapat dilihat dari daerah penolakan berdasarkan nilai probabilitas, yaitu :

- Jika probabilitas $\geq 0,05$, maka H_0 diterima.
- Jika probabilitas < 0,05, maka H_0 ditolak. (Fajrin, 2014)

4.4.3.1 Analisis Regresi Untuk Penyisihan TSS

Hasil uji regresi persentase penyisihan TSS dapat dilihat pada tabel 4.22

Tabel 4.22 Hasil uji Regresi Persentase Penyisihan TSS (%) terhadap Berat Basah Tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) pada Tanaman Bambu Air

Regression Analysis: %TSS versus BB; HLR					
The regression equation is					
%TSS = 62,9 + 0,0641 BB - 0,114 HLR					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	62,92	10,52	5,98	0,105	
BB	0,06410	0,04701	1,36	0,403	
HLR	-0,11364	0,05000	-2,27	0,264	
S = 5,5 R-Sq = 87,5% R-Sq(adj) = 62,6%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	212,50	106,25	3,51	0,353
Residual Error	1	30,25	30,25		
Total	3	242,75			

Pada tabel 4.22 memuat keterangan sebagai berikut :

- S = Standar deviasi model
- R-Sq (R^2) = Koefisien determinasi
- R-Sq (adj) = Koefisien determinasi yang disesuaikan
- T = Nilai statistik
- P = Nilai probabilitas

Pada Tabel 4.22 dapat kita ketahui :

- a) Analisis regresi yang dilakukan, model regresi yang didapat yaitu :

$$Y = 62,9 + 0,0641 X_1 - 0,114 X_2$$

Dimana :

Y = Persentase Penyisihan TSS

X₁ = Berat Basah Tanaman (gr)

X₂ = Variasi laju pembebanan hidrolis (l/m².hr)

Persamaan regresi pada tabel 4.22 adalah $Y = 62,9 + 0,0641 X_1 - 0,114 X_2$ dimana Y adalah presentase penyisihan TSS (%), X₁ adalah variasi berat basah tanaman, dan X₂ adalah variasi laju pembebanan hidrolis. Koefisien regresi sebesar -0,11364 untuk laju pembebanan hidrolis (X₂) menyatakan bahwa setiap laju pembebanan hidrolis akan menurunkan presentase penyisihan TSS sebesar -0,0011364% dengan anggapan variabel lainnya bernilai konstan. Koefisien regresi sebesar 0,06410 untuk variasi berat basah tanaman (X₁) menyatakan bahwa semakin banyak besar berat basah tanaman maka dapat meningkatkan persentase TSS sebesar 0,000641% dengan anggapan variabel lainnya bernilai konstan. Pada tabel regresi menunjukkan bahwa koefisien nilai (konstan) untuk variasi berat basah tanaman bertanda negatif dan laju pembebanan hidrolis bertanda positif. Dimana koefisien korelasi variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis, adalah 0,0641 dan 0,114.

- b) Hasil analisis regresi

Hasil analisis regresi juga di dapatkan koefisien determinasi (R Square = r²) sebesar 87,5 %. Hal ini berarti presentase penyisihan konsentrasi TSS dipengaruhi oleh variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis sedangkan sisanya 12,5 % penurunan penyisihan TSS dipengaruhi oleh faktor lainnya.

c) Uji T untuk menguji signifikansi koefisien dan variabel bebas

- Berdasarkan nilai T

Uji T dilakukan untuk menguji signifikansi koefisien dan variabel bebas, untuk taraf signifikansi (α) sebesar 5%, maka $t_{\alpha/2, n-1}$ tabel distribusi t didapat 2,920. Nilai t variabel berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis pada tebel 4,15 adalah 1,36 dan -2,27. Untuk variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis nilai t hitung < statistik t tabel, jadi keputusannya adalah H_0 diterima, maka kesimpulannya variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis tidak berpengaruh secara signifikan terhadap persentase penyisihan TSS.

- Berdasarkan probabilitas

Terlihat pada tabel 4.22 Nilai probabilitas (P) untuk variasi laju pembebanan hidrolis sebesar probabilitasnya 0,264. Sedangkan untuk variasi berat basah tanaman sebesar 0,403. Untuk variasi laju pembebanan hidrolis probabilitasnya > 0,05 sehingga H_0 diterima atau koefisien regresi tidak signifikan. Untuk berat basah tanaman nilai probabilitasnya > 0,05 sehingga H_0 diterima atau koefisien regresi tidak signifikan terhadap presentase penyisihan TSS.

Tabel 4.23 Hasil uji Regresi Persentase Penyisihan TSS (%) terhadap Berat Basah Tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) pada Tanaman Lotus

Regression Analysis: %TSS versus BB; HLR					
The regression equation is					
%TSS = 81,8 + 0,141 BB - 0,305 HLR					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	81,78	16,26	5,03	0,125	
BB	0,14103	0,07265	1,94	0,303	
HLR	-0,30455	0,07727	-3,94	0,158	
S = 8,5 R-Sq = 95,1% R-Sq(adj) = 85,2%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	1394,50	697,25	9,65	0,222
Residual Error	1	72,25	72,25		
Total	3	1466,75			

Pada tabel 4.23 memuat keterangan sebagai berikut :

- S = Standar deviasi model
- R-Sq (R^2) = Koefisien determinasi
- R-Sq (adj) = Koefisien determinasi yang disesuaikan
- T = Nilai statistik
- P = Nilai probabilitas

Pada Tabel 4.23 dapat kita ketahui :

- a) Analisis regresi yang dilakukan, model regresi yang didapat yaitu

$$Y = 81,8 + 0,141 X_1 - 0,305 X_2$$

Dimana :

Y = Persentase Penyisihan TSS

X_1 = Berat Basah Tanaman (gr)

X_2 = Variasi laju pembebanan hidrolis ($l/m^2.hr$)

Persamaan regresi pada tabel 4.23 adalah $Y = 81,8 + 0,141 X_1 - 0,305 X_2$ dimana Y adalah presentase penyisihan TSS (%), X_1 adalah variasi berat basah tanaman, dan X_2 adalah variasi laju pembebanan hidrolis. Koefisien regresi sebesar -0,30455 untuk laju pembebanan hidrolis (X_2) menyatakan bahwa setiap laju pembebanan hidrolis akan menurunkan presentase penyisihan TSS sebesar -0,0030455% dengan anggapan variabel lainnya bernilai konstan. Koefisien regresi sebesar 0,14103 untuk variasi berat basah tanaman (X_1) menyatakan bahwa semakin banyak besar berat basah tanaman maka dapat meningkatkan persentase TSS sebesar 0,0014103% dengan anggapan variabel lainnya bernilai konstan. Pada tabel regresi menunjukkan bahwa koefisien nilai (konstan) untuk variasi berat basah tanaman bertanda positif dan laju pembebanan hidrolis bertanda negatif. Dimana koefisien korelasi variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis, adalah 0,141 dan - 0,305.

- b) Hasil analisis regresi

Hasil analisis regresi juga di dapatkan koefisien determinasi (R Square = r^2) sebesar 95,1 %. Hal ini berarti presentase penyisihan konsentrasi TSS dipengaruhi oleh variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan

hidrolis sedangkan sisanya 4,9 % penurunan penyisihan TSS dipengaruhi oleh faktor lainnya.

c) Uji T untuk menguji signifikansi koefisien dan variabel bebas

- Berdasarkan nilai T

Uji T dilakukan untuk menguji signifikansi koefisien dan variabel bebas, untuk taraf signifikansi (α) sebesar 5%, maka $t_{\alpha/2, n-1}$ tabel distribusi t didapat 2,920 Nilai t variabel berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis pada tabel 4.23 adalah 1,94 dan -3,94. Untuk variasi berat basah tanaman t hitung < statistik t tabel, jadi keputusannya adalah H_0 diterima, maka variasi berat basah tidak berpengaruh secara signifikan terhadap persentase penyisihan TSS. sedangkan untuk variasi laju pembebanan hidrolis t hitung > statistik t tabel maka kesimpulannya variasi laju pembebanan hidrolis berpengaruh secara signifikan terhadap persentase penyisihan TSS.

- Berdasarkan probabilitas

Terlihat pada tabel 4.23 Nilai probabilitas (P) untuk variasi laju pembebanan hidrolis sebesar probabilitasnya 0,158. Sedangkan untuk variasi berat basah tanaman sebesar 0,303. untuk variasi laju pembebanan hidrolis probabilitasnya > 0,05 sehingga H_0 diterima atau koefisien regresi tidak signifikan. Untuk berat basah tanaman nilai probabilitasnya > 0,05 sehingga H_0 diterima atau koefisien regresi tidak signifikan terhadap presentase TSS.

4.4.3.2 Analisis Regresi Untuk Penyisihan Nikel

Hasil uji regresi persentase penyisihan Nikel dapat dilihat pada tabel 4.24 dan tabel 4.25 dibawah ini :

Tabel 4.24 Hasil uji Regresi Persentase Penyisihan Nikel (%) terhadap Berat Basah Tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) pada Tanaman Bambu Air

Regression Analysis: %NIKEL versus BB; HLR					
The regression equation is					
%NIKEL = - 7,38 + 0,0711 BB + 0,204 HLR					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	-7,380	4,423	-1,67	0,344	
BB	0,07108	0,01977	3,60	0,173	
HLR	0,20446	0,02103	9,72	0,065	
S = 2,31299 R-Sq = 99,1% R-Sq(adj) = 97,2%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	574,98	287,49	53,74	0,096
Residual Error	1	5,35	5,35		
Total	3	580,33			

Pada tabel 4.24 memuat keterangan sebagai berikut :

- S = Standar deviasi model
- R-Sq (R^2) = Koefisien determinasi
- R-Sq (adj) = Koefisien determinasi yang disesuaikan
- T = Nilai statistik
- P = Nilai probabilitas

Pada Tabel 4.24 dapat kita ketahui :

d) Analisis regresi yang dilakukan, model regresi yang didapat yaitu

$$Y = -7,38 + 0,0711 X_1 + 0,204 X_2$$

Dimana :

Y = Persentase Penyisihan TSS

X_1 = Berat Basah Tanaman (gr)

X_2 = Variasi laju pembebanan hidrolis ($l/m^2 \cdot hr$)

Persamaan regresi pada tabel 4.13 adalah $Y = - 7,38 + 0,0711 X_1 + 0,204 X_2$ dimana Y adalah presentase penyisihan Nikel (%), X_1 adalah

variasi berat basah tanaman, dan X_2 adalah variasi laju pembebanan hidrolis. Koefisien regresi sebesar 0,20446 untuk laju pembebanan hidrolis (X_2) menyatakan bahwa setiap laju pembebanan hidrolis akan menurunkan presentase penyisihan Krom sebesar 0,0020446 % dengan anggapan variabel lainnya bernilai konstan. Koefisien regresi sebesar 0,07108 untuk variasi berat basah tanaman (X_1) menyatakan bahwa semakin banyak besar berat basah tanaman maka dapat meningkatkan persentase Krom sebesar 0,0007108% dengan anggapan variabel lainnya bernilai konstan. Pada tabel regresi menunjukkan bahwa koefisien nilai (konstan) untuk variasi berat basah tanaman bertanda dan laju pembebanan hidrolis bertanda positif. Dimana koefisien korelasi variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis, adalah 0,0711 dan 0,204.

e) Hasil analisis regresi

Hasil analisis regresi juga di dapatkan koefisien determinasi (R Square = r^2) sebesar 99,1 %. Hal ini berarti presentase penyisihan konsentrasi TSS dipengaruhi oleh variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis, sedangkan sisanya 0,9 % penurunan penyisihan Nikel dipengaruhi oleh faktor lainnya.

f) Uji T untuk menguji signifikansi koefisien dan variabel bebas

- Berdasarkan nilai T

Uji T dilakukan untuk menguji signifikansi koefisien dan variabel bebas, untuk taraf signifikansi (α) sebesar 5%, maka $t_{\alpha/2, n-1}$ tabel distribusi t didapat 2,920 Nilai t variabel berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis pada tabel 4.24 adalah 3,60 dan 9,72. Untuk variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis t hitung > statistik t tabel, jadi keputusannya adalah H_0 ditolak, maka kesimpulannya variasi laju pembebanan hidrolis dan berat basah tanaman berpengaruh secara signifikan terhadap persentase penyisihan Krom.

- Berdasarkan probabilitas
Terlihat pada tabel 4.24 Nilai probabilitas (P) untuk variasi laju pembebanan hidrolis sebesar probabilitasnya 0,065. Sedangkan untuk variasi berat basah tanaman sebesar 0,173. untuk variasi laju pembebanan hidrolis probabilitasnya $> 0,05$ sehingga H_0 diterima atau koefisien regresi tidak signifikan terhadap presentase penyisihan Krom. Untuk berat basah tanaman nilai probabilitasnya $> 0,05$ sehingga H_0 diterima atau koefisien regresi tidak signifikan terhadap presentase penyisihan Krom.

Tabel 4.25 Hasil uji Regresi Persentase Penyisihan Nikel (%) terhadap Berat Basah Tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) pada Tanaman Lotus

Regression Analysis: %NIKEL versus BB; HLR					
The regression equation is					
%NIKEL = - 34,9 + 0,0921 BB + 0,350 HLR					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	-34,900	5,186	-6,73	0,094	
BB	0,09207	0,02318	3,97	0,157	
HLR	0,34999	0,02465	14,20	0,045	
S = 2,71161 R-Sq = 99,5% R-Sq(adj) = 98,6%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	1598,22	799,11	108,68	0,068
Residual Error	1	7,35	7,35		
Total	3	1605,58			

Pada tabel 4.25 memuat keterangan sebagai berikut :

- S = Standar deviasi model
- R-Sq (R^2) = Koefisien determinasi
- R-Sq (adj) = Koefisien determinasi yang disesuaikan
- T = Nilai statistik
- P = Nilai probabilitas

Pada Tabel 4.25 dapat kita ketahui :

d) Analisis regresi yang dilakukan, model regresi yang didapat yaitu

$$Y = - 34,9 + 0,0921 X_1 + 0,350 X_2$$

Dimana :

Y = Persentase Penyisihan Nikel

X₁ = Berat Basah Tanaman (gr)

X₂ = Variasi laju pembebanan hidrolis (l/m².hr)

Persamaan regresi pada tabel 4.18 adalah $Y = - 34,9 + 0,0921 X_1 + 0,350 X_2$ dimana Y adalah presentase penyisihan Nikel (%), X₁ adalah variasi berat basah tanaman, dan X₂ adalah variasi laju pembebanan hidrolis. Koefisien regresi sebesar 0,34999 untuk laju pembebanan hidrolis (X₂) menyatakan bahwa setiap laju pembebanan hidrolis akan menurunkan presentase penyisihan Nikel sebesar 0,0034999% dengan anggapan variabel lainnya bernilai konstan. Koefisien regresi sebesar 0,09207 untuk variasi berat basah tanaman (X₁) menyatakan bahwa semakin banyak besar berat basah tanaman maka dapat meningkatkan persentase Nikel sebesar 0,0009207% dengan anggapan variabel lainnya bernilai konstan. Pada tabel regresi menunjukkan bahwa koefisien nilai (konstan) untuk variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis bertanda positif. Dimana koefisien korelasi variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis, adalah 0,0921 dan 0,350.

e) Hasil analisis regresi

Hasil analisis regresi juga di dapatkan koefisien determinasi (R Square = r²) sebesar 99,5%. Hal ini berarti presentase penyisihan konsentrasi Nikel dipengaruhi oleh variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis sedangkan sisanya 0,5% penurunan penyisihan Nikel dipengaruhi oleh faktor lainnya.

f) Uji T untuk menguji signifikansi koefisien dan variabel bebas

- Berdasarkan nilai T

Uji T dilakukan untuk menguji signifikansi koefisien dan variabel bebas, untuk taraf signifikansi (α) sebesar 5%, maka $t_{\alpha/2, n-1}$ tabel

distribusi t didapat 2,920 Nilai t variabel berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis pada tabel 4.25 adalah 3,97 dan 14,20. Untuk variasi kerapatan tanaman dan laju pembebanan hidrolis t hitung > statistik t tabel, jadi keputusannya adalah H_0 ditolak, maka kesimpulannya variasi laju pembebanan hidrolis dan berat basah tanaman berpengaruh secara signifikan terhadap persentase penyisihan Nikel

- Berdasarkan probabilitas

Terlihat pada tabel 4.25 Nilai probabilitas (P) untuk variasi laju pembebanan hidrolis sebesar 0,045. Sedangkan untuk variasi berat basah tanaman sebesar 0,157. untuk variasi laju pembebanan hidrolis probabilitasnya < 0,05 sehingga H_0 ditolak atau koefisien regresi signifikan. Untuk berat basah tanaman nilai probabilitasnya > 0,05 sehingga H_0 diterima atau koefisien regresi tidak signifikan terhadap presentase penyisihan Nikel.

4.4.3.3 Analisis Regresi Untuk Penurunan Penyisihan Krom

Hasil uji regresi persentase penyisihan Krom dapat dilihat pada tabel 4.26 dan tabel 4.27

Tabel 4.26 Hasil uji Regresi Persentase Penyisihan Krom (%) terhadap Berat Basah Tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) pada Tanaman Bambu Air

Regression Analysis: %KROM versus BB; HLR					
The regression equation is					
%KROM = 29,7 + 0,0930 BB - 0,0532 HLR					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	29,744	7,261	4,10	0,152	
BB	0,09295	0,03245	2,86	0,214	
HLR	-0,05324	0,03452	-1,54	0,366	
S = 3,79665 R-Sq = 91,4% R-Sq(adj) = 74,1%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	152,56	76,28	5,29	0,294
Residual Error	1	14,41	14,41		
Total	3	166,97			

Pada tabel 4.26 memuat keterangan sebagai berikut :

- S = Standar deviasi model
- R-Sq (R^2) = Koefisien determinasi
- R-Sq (adj) = Koefisien determinasi yang disesuaikan
- T = Nilai statistik
- P = Nilai probabilitas
-

Pada Tabel 4.26 dapat kita ketahui :

g) Analisis regresi yang dilakukan, model regresi yang didapat yaitu

$$Y = 29,7 + 0,0930 X_1 - 0,0532 X_2$$

Dimana :

Y = Persentase Penyisihan Krom

X_1 = Berat Basah Tanaman (gr)

X_2 = Variasi laju pembebanan hidrolis ($l/m^2.hr$)

Persamaan regresi pada tabel 4.26 adalah $Y = 29,7 + 0,0930 X_1 - 0,0532 X_2$ dimana Y adalah presentase penyisihan Krom (%), X_1 adalah variasi berat basah tanaman, dan X_2 adalah variasi laju pembebanan hidrolis. Koefisien regresi sebesar -0,05324 untuk laju pembebanan hidrolis (X_2) menyatakan bahwa setiap laju pembebanan hidrolis akan menurunkan presentase penyisihan TSS sebesar -0,0005324 % dengan anggapan variabel lainnya bernilai konstan. Koefisien regresi sebesar 0,09295 untuk variasi berat basah tanaman (X_1) menyatakan bahwa semakin banyak besar berat basah tanaman maka dapat meningkatkan persentase Krom sebesar 0,0009295% dengan anggapan variabel lainnya bernilai konstan. Pada tabel regresi menunjukkan bahwa koefisien nilai (konstan) untuk variasi berat basah tanaman bertanda positif dan laju pembebanan hidrolis bertanda negatif. Dimana koefisien korelasi variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis, adalah 0,0930 dan - 0,0532.

h) Hasil analisis regresi

Hasil analisis regresi juga di dapatkan koefisien determinasi (R^2) sebesar 91,4 %. Hal ini berarti presentase penyisihan konsentrasi Krom dipengaruhi oleh variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis, sedangkan sisanya 8,6 % penurunan penyisihan krom dipengaruhi oleh faktor lainnya.

i) Uji T untuk menguji signifikansi koefisien dan variabel bebas

- Berdasarkan nilai T

Uji T dilakukan untuk menguji signifikansi koefisien dan variabel bebas, untuk taraf signifikansi (α) sebesar 5%, maka $\alpha/2, n-1$ tabel distribusi t didapat 2,920 Nilai t variabel berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis pada tabel 4.26 adalah 2,86 dan -1,54. Untuk variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis t hitung < statistik t tabel, jadi keputusannya adalah H_0 diterima, maka kesimpulannya variasi laju pembebanan hidrolis dan berat basah tanaman tidak berpengaruh secara signifikan terhadap persentase penyisihan Krom.

- Berdasarkan probabilitas

Terlihat pada tabel 4.26 Nilai probabilitas (P) untuk variasi laju pembebanan hidrolis sebesar probabilitasnya 0,065. Sedangkan untuk variasi berat basah tanaman sebesar 0,173. Untuk variasi laju pembebanan hidrolis probabilitasnya > 0,05 sehingga H_0 diterima atau koefisien regresi tidak signifikan terhadap presentase penyisihan Krom.. Untuk berat basah tanaman nilai probabilitasnya > 0,05 sehingga H_0 diterima atau koefisien regresi tidak signifikan terhadap presentase penyisihan Krom.

Tabel 4.27 Hasil uji Regresi Persentase Penyisihan Krom (%) terhadap Berat Basah Tanaman (BB) dan laju pembebanan hidrolis (HLR) pada Tanaman Lotus

Regression Analysis: %R versus BB; HLR					
The regression equation is					
%R = 35,9 + 0,0814 BB + 0,0515 HLR					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	35,942	6,645	5,41	0,116	
BB	0,08140	0,02970	2,74	0,223	
HLR	0,05148	0,03159	1,63	0,350	
S = 3,47490 R-Sq = 91,0% R-Sq(adj) = 73,1%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	122,77	61,39	5,08	0,299
Residual Error	1	12,07	12,07		
Total	3	134,85			

Pada tabel 4.27 memuat keterangan sebagai berikut :

- S = Standar deviasi model
- R-Sq (R^2) = Koefisien determinasi
- R-Sq (adj) = Koefisien determinasi yang disesuaikan
- T = Nilai statistik
- P = Nilai probabilitas

Pada Tabel 4.27 dapat kita ketahui :

g) Analisis regresi yang dilakukan, model regresi yang didapat yaitu

$$Y = 35,9 + 0,0814 X_1 + 0,0515 X_2$$

Dimana :

Y = Persentase Penyisihan Nikel

X_1 = Berat Basah Tanaman (gr)

X_2 = Variasi laju pembebanan hidrolis ($l/m^2.hr$)

Persamaan regresi pada tabel 4.27 adalah $Y = 35,9 + 0,0814 X_1 + 0,0515 X_2$ dimana Y adalah presentase penyisihan Krom (%), X_1 adalah variasi berat basah tanaman, dan X_2 adalah variasi laju pembebanan hidrolis. Koefisien regresi sebesar 0,05148 untuk laju pembebanan hidrolis (X_2) menyatakan bahwa setiap laju pembebanan hidrolis akan menurunkan presentase penyisihan TSS sebesar 0,0005148% dengan anggapan variabel lainnya bernilai konstan. Koefisien regresi sebesar 0,08140

untuk variasi berat basah tanaman (X_1) menyatakan bahwa semakin banyak besar berat basah tanaman maka dapat meningkatkan persentase Krom sebesar 0,0008140% dengan anggapan variabel lainnya bernilai konstan. Pada tabel regresi menunjukkan bahwa koefisien nilai (konstan) untuk variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis bertanda positif. Dimana koefisien korelasi variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis, adalah 0,0814 dan 0,0515.

h) Hasil analisis regresi

Hasil analisis regresi juga di dapatkan koefisien determinasi (R Square = r^2) sebesar 91,0 %. Hal ini berarti presentase penyisihan konsentrasi TSS dipengaruhi oleh variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis sedangkan sisanya 8 % penurunan penyisihan TSS dipengaruhi oleh faktor lainnya.

i) Uji T untuk menguji signifikansi koefisien dan variabel bebas

- Berdasarkan nilai T

Uji T dilakukan untuk menguji signifikansi koefisien dan variabel bebas, untuk taraf signifikansi (α) sebesar 5%, maka $\alpha/2, n-1$ tabel distribusi t didapat 2,920 Nilai t variabel berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis pada tabel 4.27 adalah 2,74 dan 1,63. Untuk variasi kerapatan tanaman dan laju pembebanan hidrolis t hitung < statistik t tabel, jadi keputusannya adalah H_0 diterima, maka variasi laju pembebanan hidrolis dan berat basah tanaman tidak berpengaruh secara signifikan terhadap persentase penyisihan Krom.

- Berdasarkan probabilitas

Terlihat pada tabel 4.27 Nilai probabilitas (P) untuk variasi laju pembebanan hidrolis sebesar 0,350. Sedangkan untuk variasi berat basah tanaman sebesar 0,223. Untuk variasi laju pembebanan hidrolis probabilitasnya > 0,05 sehingga H_0 diterima atau koefisien regresi tidak signifikan. Untuk berat basah tanaman nilai probabilitasnya > 0,05 sehingga H_0 diterima atau koefisien regresi tidak signifikan terhadap presentase penyisihan Krom.

4.5 Pembahasan

4.5.1 Penurunan Konsentrasi TSS

Pada penelitian ini, hasil analisis konsentrasi akhir Total Suspended Solid (TSS) setelah dilakukan proses SSF-Wetland dengan variasi jenis tanaman, diketahui jenis Tanaman Lotus mampu menurunkan TSS hingga 75%, sedangkan pada variasi jenis tanaman bambu air hanya mampu TSS hingga 67%.

Berdasarkan uji statistik (korelasi, anova, dan regresi) persentase penyisihan TSS menunjukkan identik atau tidak terdapat perbedaan yang nyata antara variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis terhadap penyisihan TSS pada Tanaman Bambu Air dan Lotus, tidak adanya perbedaan nyata ini disebabkan variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis memiliki range nilai tidak begitu jauh, sehingga tidak terlihat perbedaan yang nyata terhadap penyisihan TSS. Hal ini sejalan dengan penelitian Fajrin, 2014 dimana perbandingan berat basah tanaman 162 gr, 180 gr dan 198 gr dalam menurunkan konsentrasi TSS pada limbah Rumah Potong Hewan (RPH) memiliki persentase penyisihan yang tidak berbeda jauh, hal ini dikarenakan variasi berat basah dan waktu detensi memiliki range nilai yang tidak begitu jauh. Pada penelitian Fachrurozi (2010) Penyisihan TSS limbah cair tahu dengan variasi biomasa tanaman kayu apu 0, 50, 100, 150,200,250 gr juga menunjukkan nilai konsentrasi akhir yang tidak berbeda jauh satu sama lain, hal ini dikarenakan variasi biomassa (berat basah tanah) dan luas permukaan reaktor memiliki range nilai yang tidak jauh beda sehingga tidak terlihat perbedaan yang nyata pada penyisihan TSS. Penurunan nilai TSS disebabkan juga karena terjadi proses penyerapan oleh tanaman, dekomposisi bahan organik terlarut dan mengendapnya hasil dekomposisi bahan organik. Semakin tinggi biomassa tanaman, semakin banyak akar serabutnya, maka semakin banyak koloid yang menempel di akar-akar tersebut.

Berdasarkan tabel 4.6 dan grafik 4.3 hasil penelitian menggunakan Tanaman Bambu Air dan tanpa tanaman menunjukkan persentase penyisihan konsentrasi TSS yang terbesar terjadi pada reaktor dengan tanaman pada berat basah tanaman 198 gr dibandingkan dengan reaktor tanpa tanaman (kontrol), dan

reaktor dengan tanaman pada berat basah 81 gr. Hal ini dikarenakan adanya proses sedimentasi yang terjadi akibat pengaruh gaya gravitasi yang juga terjadi dalam reaktor, sedangkan filtrasi terjadi ketika partikel tersuspensi tersaring secara mekanisme saat melewati media, akar maupun fauna air yang ada di dalam *Constructed Wetland* (Greenway, 2007 dalam fajrin 2014). Menurut Evasari,2012. Proses filtrasi dilakukan oleh media dan akar tanaman yang terdapat dalam reaktor, dimana proses tersebut terjadi karena kemampuan partikel-partikel media maupun sistem perakaran membentuk filter yang dapat menahan partikel-partikel padatan yang terdapat dalam air limbah. Berdasarkan tabel 4.6 dan grafik 4.4 hasil penelitian menggunakan Tanaman Lotus dan tanpa tanaman menunjukkan persentase penyisihan konsentrasi TSS yang terbesar terjadi pada reaktor dengan tanaman pada berat basah tanaman 198 gr dibandingkan dengan reaktor tanpa tanaman (kontrol), dan reaktor dengan tanaman pada berat basah 81 gr. Menurut Yuniarmita (2015) bahwa tumbuhan dapat membantu penyisihan TSS yaitu secara sedimentasi, tumbuhan akan mengurangi kecepatan air dan turbulensi sehingga menyebabkan pengendapan. Sama halnya pada reaktor menggunakan Tanaman Bambu Air, HLR optimum dalam penyisihan konsentrasi TSS yaitu ada pada laju pembebanan hidrolis $100 \text{ l/m}^2 \cdot \text{hr}$. Efisiensi penyisihan kandungan air limbah bergantung pada lamanya waktu detensi di dalam constructed wetland. Tingkat permeabilitas dan konduktivitas hidrolis media sangat berpengaruh terhadap waktu detensi air limbah, dimana waktu detensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak antara mikroorganisme dengan air limbah. Perbedaan laju penurunan TSS pada tiap-tiap reaktor bisa saja terjadi, akibat perbedaan porositas media yang dibentuk oleh sistem perakaran tanaman reaktor. (Supradata,2005 dalam Loretha 2013). Selain itu dalam proses penyisihan di lapisan tanah terjadi proses pembersihan secara mekanis dan secara biologis oleh akar tanaman serta mikroorganisme yang terdapat pada substrat tanah Selanjutnya pada lapisan pasir, kerikil halus dan kasar terjadi proses filtrasi, dimana limbah dengan kandungan TSS yang tinggi akan disaring oleh media filter tersebut (Salmariza & Sofyan, 1999 dalam Komala, 2013). laju pembebanan hidrolis mempengaruhi waktu detensi. Semakin kecil laju

pembebanan hidrolis semakin Lama waktu detensi yang dibutuhkan karena waktu tinggal yang lebih lama sehingga proses-proses yang terjadi dalam instalasi akan berlangsung sempurna. Hal ini terbukti pada grafik 4.3 dan 4.4 pengaruh penyisihan TSS terbesar terdapat pada laju pembebanan hidrolis 100 L/m².hari baik menggunakan Tanaman Bambu Air maupun Tanaman Lotus. Sedangkan jika membandingkan kedua jenis tanaman maka persentase penyisihan TSS Tanaman Lotus lebih mampu menyisihkan TSS di bandingkan Tanaman Bambu air. Hal ini dapat terjadi dikarenakan Tanaman Lotus berfungsi sebagai penjebak sedimen atau sediment trap. Hal disebabkan oleh kemampuan Seroja dalam menghilangkan beban pencemaran melalui mekanisme koagulasi dan flokulasi (Khatuddin 2003 dalam Iskandar, 2010), selain itu menurut Tangke (2010) rimpang pada tanaman dapat menahan dan mengikat sedimen, sehingga juga dapat sebagai penguat dasar permukaan. Sistem akar dan rhizoma dapat memodifikasi sedimen di sekitarnya melalui transpor oksigen dan kandungan kimia lain, selain itu dijelaskan juga sistem perakaran dan rimpangnya dapat sebagai perangkap dan pengstabil sedimen dasar sehingga perairan menjadi lebih jernih.

4.5.2 Penurunan Konsentrasi Nikel

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis deskriptif pengolahan limbah cair elektroplating menggunakan sistem SSF-Wetland terhadap penyisihan Nikel. Didapatkan persentase penyisihan terendah pada reaktor tanpa tanaman (kontrol) pada laju pembebanan hidrolis 100 l/m².hari sebesar 8,37%. Sedangkan persentase penyisihan Nikel tertinggi terjadi pada jenis tanaman Lotus dengan laju pembebanan hidrolis 210 l/m².hari pada berat basah tanaman 198 sebesar 55,47%

Berdasarkan uji statistik (korelasi, anova, regresi) penyisihan Nikel hampir semua menunjukkan identik atau tidak terdapat perbedaan yang nyata antara variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis terhadap penyisihan Nikel, tidak adanya perbedaan yang nyata ini disebabkan variasi berat basah tanaman dan waktu kontak memiliki range nilai yang tidak begitu jauh, sehingga tidak terlihat perbedaan yang nyata terhadap penyisihan nikel. Hal ini sejalan dengan penelitian Viobeth, dkk (2012) dimana perbandingan berat basah tanaman

30 gr dan 60 gr dan waktu kontak dalam menurunkan konsentrasi Nikel pada limbah yang mengandung timbal (Pb) dan Nikel (Ni) memiliki konsentrasi penyisihan yang tidak berbeda jauh hal ini dikarenakan range nilai variasi berat basah tanaman waktu detensi yang tidak begitu jauh.

Berdasarkan tabel 4.7 dan grafik 4.7, hasil penelitian dengan jenis tanaman bambu air dan reaktor kontrol menunjukkan persentasi penyisihan terkecil terjadi pada reaktor kontrol, hal ini dikarenakan direaktor kontrol tidak menggunakan tanaman, hanya menggunakan media tanah, pasir dan kerikil. Media tanah berfungsi sebagai tempat menempelnya akar dan media hidup bagi mikroorganisme, sedangkan media pasir sebagai penyaring bagi air yang telah diproses pada lapisan tanah, dan media kerikil halus berfungsi hanya sebagai media pendukung (Komala,2013). Berdasarkan grafik 4.7 Penyisihan konsentrasi Nikel menggunakan Tanaman Bambu air tertinggi terjadi pada variasi berat basah tanaman 198 gr dan laju pembebanan hidrolis $210 \text{ l/m}^2.\text{hari}$ pada HLR $100 \text{ l/m}^2.\text{hari}$. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan (Prayitno 2014) bahwa bambu air seiring bertambahnya waktu mengalami kejenuhan pada bagian akarnya, sehingga parameter nikel tidak lagi mengalami penurunan. Keberadaan tanaman bambu air ini sangat membantu dalam proses pengolahan limbah. Ketika bahan pencemar memasuki reaktor, bakteri yang ingin memperoleh energi mengurai bahan pencemar yang kompleks untuk dijadikan unsur hara yang lebih sederhana dan dapat diserap oleh tanaman pada siang hari dengan bantuan sinar matahari melalui proses fotosintesis. Menurut Oktavia (2016) Akar serabut yang ada pada Tanaman Bambu Air terdapat bulu akar yang selalu terendam dalam air. Air limbah yang mengandung logam akan bermuatan positif dan cara untuk mengikat logam tersebut dengan memasukkan objek yang bermuatan negatif. Akar tumbuhan bermuatan negatif dan berperan sebagai magnet untuk menarik unsur-unsur bermuatan positif.

Berdasarkan Tabel 4.7 dan grafik 4.8, hasil penelitian dengan jenis Tanaman Lotus dan reaktor kontrol menunjukkan persentasi penyisihan terkecil terjadi pada reaktor kontrol, hal ini dikarenakan direaktor kontrol hanya terjadi proses fisik yaitu filtrasi dan sedimentasi yang diakibatkan oleh saringan berupa

media pasir (Kusumastuti,2014). Sama halnya dengan variasi menggunakan tanaman Bambu Air, Persentase penyisihan Nikel tertinggi pada variasi berat tanaman 198 gr dengan laju pembebanan hidrolis 210 l/m² kemudian presentasi penyisihan menurun pada laju pembebanan hidrolis 100 l/m² hal ini disebabkan dalam nutrisi nikel oleh tumbuhan menunjukkan bahwa serapan nikel dalam aktivitas yang tinggi dapat menyerap hingga 1,8 ppm ion Ni²⁺, namun penyerapan nikel yang berlebihan mengakibatkan daun tumbuhan berwarna kuning setelah itu tanaman akan mengalami kondisi kekeringan dan akhirnya akan mati. (G et al 2011 dalam pappa 2016). Sama halnya dengan variasi menggunakan tanaman Bambu Air, Penurunan persentasi Nikel menggunakan Tanaman Lotus tertinggi pada variasi berat tanaman 198 gr, hal ini dikarenakan Peran tumbuhan cukup penting karena mampu mengontrol atau menghambat laju aliran air melalui batang maupun akarnya sehingga akan ada waktu untuk terjadinya sedimentasi. Sama halnya dengan variasi menggunakan tanaman Bambu Air, Penurunan persentasi Nikel tertinggi pada variasi berat tanaman 198 gr, hal ini sesuai dengan pernyataan Suprijanto (2010) Menjalarnya akar-akar memberikan luas permukaan yang luas untuk perkembangan mikroba dan berfungsi sebagai filter dan adsorber. Tanaman memberikan luas permukaan menempelnya mikroba, dan membantu proses filtrasi dan adsorpsi konstituent air limbah, transfer oksigen kedalam kolom air, dan mengendalikan pertumbuhan alga dengan membatasi sinar matahari masuk kedalam kolom air.

4.5.3 Penurunan Konsentrasi Total-Krom

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis deskriptif pengolahan limbah cair elektroplating menggunakan sistem SSF-Wetland terhadap penyisihan Total-Krom. Didapatkan persentase penyisihan terendah pada reaktor (kontrol) sebesar 18,40%. Sedangkan persentase penyisihan Krom tertinggi terjadi pada jenis tanaman Lotus dengan laju pembebanan hidrolis 210 l/m².hari pada berat basah tanaman 198 sebesar 61,13%.

Berdasarkan uji statistik (korelasi, anova, regresi) penyisihan Total-Krom menunjukkan identik atau tidak terdapat perbedaan yang nyata antara variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis terhadap penyisihan Total-Krom, tidak adanya perbedaan yang nyata ini disebabkan variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis memiliki range yang tidak begitu jauh, sehingga tidak terlihat perbedaan yang nyata terhadap penyisihan Total-Krom. Hal ini sejalan dengan penelitian Adevy, dkk (2010) dimana perbandingan berat basah tanaman 100 gr dan 50 gr dan waktu kontak dalam menurunkan konsentrasi Krom pada limbah yang mengandung timbal (Pb) dan Krom (Cr) memiliki konsentrasi penyisihan yang tidak berbeda jauh hal ini dikarenakan variasi berat basah tanaman dan waktu kontak memiliki range nilai yang tidak begitu jauh pula.

Berdasarkan tabel 4.8 dan grafik 4.11, hasil penelitian dengan jenis Tanaman Bambu Air dan reaktor kontrol menunjukkan persentasi penyisihan terkecil terjadi pada reaktor kontrol. Sedangkan pada reaktor dengan tanaman baik pada variasi berat basah tanaman 81 gr maupun 198 gr memiliki persentase penurunan Nikel yang berarti. Pada reaktor uji adanya akar tumbuhan akan membantu persediaan oksigen lebih banyak, sehingga bakteri lebih optimal dalam penurunan konsentrasi. Akar tumbuhan merupakan tempat melekat dan berkembang biaknya bakteri yang akan mendegradasi bahan pencemar yang ada di dalam air limbah (fajrin, 2014). Menurut Rusyani (2014) dalam Siswandari (2016) Proses penyerapan zat-zat yang terdapat di dalam media tanam dilakukan oleh ujung-ujung akar dengan jaringan meristem terjadinya karena adanya gaya tarikmenarik oleh molekul-molekul air yang ada pada tumbuhan. Penyerapan logam diserap oleh akar tumbuhan dalam bentuk ion yang larut dalam air, selain ion-ion tersebut, unsur hara juga ikut masuk bersama aliran air. Zat-zat yang diserap oleh akar akan masuk ke batang melalui pembuluh angkut (xilem), yang kemudian akan diteruskan ke batang. Presentasi penurunan Cr-Total tertinggi yaitu pada berat basah tanaman 198 gr, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan (Dewi, 2016) dimana hubungan berat basah tanaman dan Cr-Total memiliki korelasi positif, hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai berat basah tanaman, maka persentase penyisihan Cr-Total dalam air limbah

elektroplating juga semakin besar, salah satu proses fitoremediasi adalah rhizofiltrasi yang merupakan pemanfaatan kemampuan akar tanaman untuk menyerap, mengendapkan mengakumulasi polutan atau logam berat dalam air limbah.

Persentase penurunan Total-Krom pada grafik 4.11 menggunakan taaman bambu air dan reaktor kontrol jika di lihat dari laju pembebanan hidrolis baik itu pada berat basah tanaman 81 gr maupun 198 gr yaitu, semakin kecil nilai laju pembebanan hidrolis maka persentasi penurunan Total-Krom semkin meningkat, hal ini dikarenakan laju pembebanan hidrolis mempengaruhi waktu detensi, semakin kecil laju pembebanan hidrolis maka semakin lama waktu detensi yang diperlukan, karena waktu tinggal yang lebih lama maka proses-proses yang terjadi dalam instalasi akan berlangsung sempurna. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sumiyati (2007) yaitu semakin lama waktu penanaman tanaman maka konsentrasi krom cenderung semakin kecil.

Berdasarkan Tabel 4.8 dan grafik 4.12, hasil penelitian dengan jenis Tanamaan Lotus dan reaktor kontrol menunjukkan persentasi penyisihan terkecil jika dibandingkan reaktor dengan tanaman sedangkan persentase penyisihan Total-krom tertinggi pada berat basah tanaman dengan laju pembebanan hidrolis 210 l/m².hari. Menurut Haberl dan Langergraber (2002) dalam Hartanti (2014), proses fotosintesis memungkinkan adanya pelepasan oksigen pada daerah sekitar perakaran (zona rhizosphere), sehingga daerah sekitar akar kaya akan oksigen. Kadar oksigen bebas suatu perairan dapat ditentukan oleh adanya aktivitas fotosintesis didalamnya. Oksigen dipenuhi oleh tanaman melalui proses fotosintesis yang didistribusikan melalui akar-akar yang dimiliki untuk memenuhi kebutuhan oksigen bagi mikroorganisme perombak dalam menurunkan chromium. Penurunan persentasi Total-krom tertinggi pada variasi berat tanaman 198 gr dengan laju pembebanan hidrolis 210 l/m².hari kemudian presentasi penyisihan menurun pada laju pembebanan hidrolis 100 l/m².hari, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Djo (2017), dijelaskan bahwa konsentrasi logam dalam limbah juga mempengaruhi pertumbuhan tanaman; dengan meningkatnya konsentrasi logam dalam limbah maka pertumbuhan

tanaman menjadi terhambat. Dalam penelitian Oktavia (2017) juga menjelaskan kemampuan tanaman pada awal percobaan masih tinggi dalam menyerap logam berat. Sedangkan hari berikutnya mengalami penurunan, semakin banyak logam yang terserap maka semakin banyak logam yang terakumulasi dalam jaringan tanaman dan menyebabkan kejenuhan sehingga penyerapan yang terjadi menjadi terhambat.

4.5.4 Pengaruh pH dan Suhu

Dari pengukuran pH didapatkan nilai pH tertinggi yaitu 7,63 dan nilai pH terendah yaitu 6,70. Hal ini sejalan dengan pernyataan Effendi (2003) dalam rahadian (2017) , tingginya nilai pH disebabkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman. Proses fotosintesis akan menghasilkan CO₂ dan melepas ion OH ke dalam air. Kenaikan pH akan menurunkan kelarutan logam dalam air, karena akan mengubah logam dari bentuk karbonat menjadi bentuk hidroksi yang membentuk ikatan dengan partikel pada badan air (Darmono, 1995 dalam serang 2018). Nilai pH netral dengan nilai 6-8 merupakan nilai yang optimum untuk pertumbuhan mikroorganisme. Mikroorganisme merombak bahan organik (TSS) menjadi senyawa organik yang lebih sederhana seperti CO₂ dan NH₃ (Munawaroh, 2013).

Dari pengukuran suhu didapatkan nilai suhu pada semua reaktor selama penelitian berada dalam kisaran suhu optimum pertumbuhan mikroorganisme. Nilai suhu baik pada reaktor dengan Tanaman Bambu air maupun lotus berada dalam kisaran 28 – 36°C. Kisaran suhu tersebut termasuk dalam kisaran suhu mesofilik (20-45°C) Nilai ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ratnawati dan kholif (2018) yang menyatakan bahwa kondisi suhu mesofilik merupakan suhu yang sesuai untuk proses biodegradasi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Reaktor SSF-Wetland memiliki kemampuan penyisihan tertinggi pada perlakuan dengan Tanaman Lotus dibandingkan menggunakan Tanaman Bambu air, namun demikian pada penelitian ini masih belum mampu menurunkan kadar Nikel dan Total-Krom hingga mencapai standar baku mutu yang telah ditetapkan.
2. Berat Basah Tanaman tinggi yang dipengaruhi oleh kecilnya laju pembebanan hidrolis pada Reaktor SSF-Wetland meningkatkan penyisihan TSS sebesar 75%. Sedangkan hal ini tidak berpengaruh pada penurunn nikel dan total krom yakni dengan penurunan sebesar 55,47% dan 61,13% berturut-turut penyisihan tertinggi didapat dengan menggunakan Tanaman Lotus pada berat-basah tanaman 198 gr dan laju pembebanan hidrolis 210 l/m².hari.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian sistem SSF-Wetland menggunakan variasi tanaman yang berbeda untuk meningkatkan kemampuan dalam menurunkan parameter TSS, Nikel, dan Total-Krom.
2. Perlu di lakukan penelitian sistem SSF-Wetland menggunakan variasi berat basah tanaman dan laju pembebanan hidrolis dengan range angka berbeda jauh agar di dapatkan perbedaan yang signifikan dalam menurunkan parameter TSS, Nikel, dan Total-Krom.
3. Perlu dilakukan penelitian sistem SSF-Wetland dengan memanfaatkan Tanaman Bambu Air dan Lotus untuk mengurangi beban pencemaran pada limbah cair elektroplating setelah pengolahan kimia dengan parameter lain.

L
A
M
P
I
R
A
N

Lampiran II
Perhitungan Debit Wetland

PERHITUNGAN DEBIT WETLAND

Hydraulic Loading Rate

$$\text{HLR} = \frac{Q}{L.W}$$

Diketahui :

HLR = Hydraulic Loading Rate (L/m².hari)

Q = Debit (m³/hari)

L = Panjang (m)

W = Lebar (m)

a. Untuk HLR 100 L/m².hari

$$\text{HLR} = \frac{Q}{L.W}$$

$$100 \text{ L/m}^2.\text{hari} = \frac{Q}{0,45 \text{ m} \times 0,30 \text{ m}}$$

$$100 \text{ L/m}^2.\text{hari} = \frac{Q}{0,135 \text{ m}^2}$$

$$Q = 100 \text{ L/m}^2.\text{hari} \times 0,135 \text{ m}$$

$$Q = 13,5 \text{ L/hari}$$

$$= 0,0135 \text{ m}^3/\text{hari}$$

- Kebutuhan limbah Elektroplating tiap hari = 13,5 L/hari = 13.500 ml/hari

- Debit limbah elektroplating per menit adalah :

$$= 13.500 \frac{\text{ml}}{\text{hari}} + \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} + \frac{1 \text{ jam}}{60 \text{ menit}}$$

$$= 9,38 \frac{\text{ml}}{\text{menit}}$$

Adapun Kecepatan aliran adalah :

$$V = \frac{Q}{A}$$

Keterangan :

V = Kecepatan aliran m/dt

Q = Debit Aliran m³/dt

A = Kecepatan aliran m/dt

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{Q}{P \times l} \\ &= \frac{9,38 \text{ ml/menit}}{0,45 \times 0,30} \\ &= \frac{9,38 \text{ ml/menit}}{0,135 \text{ m}^2} \\ &= \frac{9,38}{1.000.000 \text{ m}^3 / \text{menit}} \\ &= \frac{9,38 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{menit}}{0,135 \text{ m}^2} \\ &= 69,48 \times 10^{-6} \text{ m} / \text{menit} \\ &= 1,16 \times 10^{-6} \text{ m/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} td &= \frac{V}{Q} \\ &= \frac{P \times L \times T}{Q} \\ &= \frac{0,45 \times 0,30 \times 0,08}{0,00056 \text{ m}^3 / \text{jam}} \\ &= 19,29 \text{ jam} \end{aligned}$$

debit limbah : 13,5 l/hari = 0,56 l/jam

debit x jumlah reaktor = 0,56 L/jam x 5 reaktor

= 2,8 L/jam

$$\begin{aligned}
 \text{Volume limbah yang digunakan} &= \text{debit} \times \text{td} \\
 &= 2,8 \text{ L/jam} \times 19,29 \text{ jam} \\
 &= 54 \text{ L}
 \end{aligned}$$

a. Untuk HLR 210 L/m².hari

$$\text{HLR} = \frac{Q}{L.W}$$

$$210 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hari} = \frac{Q}{0,45 \text{ m} \times 0,30 \text{ m}}$$

$$210 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hari} = \frac{Q}{0,135 \text{ m}^2}$$

$$Q = 210 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hari} \times 0,135 \text{ m}^2$$

$$Q = 28,35 \text{ L/hari}$$

$$= 0,028 \text{ m}^3/\text{hari}$$

- Kebutuhan limbah Elektroplating tiap hari = 28,35 L/hari = 28.350 ml/hari

- Debit limbah elektroplating per menit adalah :

$$= 28.350 \frac{\text{ml}}{\text{hari}} + \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} + \frac{1 \text{ jam}}{60 \text{ menit}}$$

$$= 19,69 \frac{\text{ml}}{\text{menit}}$$

Adapun Kecepatan aliran adalah :

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{Q}{P \times l} \\
 &= \frac{19,69 \text{ ml/menit}}{0,45 \times 0,30} \\
 &= \frac{19,69 \text{ ml/menit}}{0,135 \text{ m}^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{19,69}{1.000.000 \text{ m}^3 / \text{menit}} \\
&= \frac{19,69 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{menit}}{0,135 \text{ m}^2} \\
&= 145,85 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{menit} \\
&= 2,43 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{detik}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{td} &= \frac{V}{Q} \\
&= \frac{P \times L \times T}{Q} \\
&= \frac{0,45 \times 0,30 \times 0,08}{0,0012 \text{ m}^3 / \text{jam}} \\
&= 9 \text{ jam}
\end{aligned}$$

$$\text{debit limbah : } 28,35 \text{ l/hari} = 1,18 \text{ l/jam}$$

$$\begin{aligned}
\text{debit} \times \text{jumlah reaktor} &= 1,18 \text{ L/jam} \times 5 \text{ reaktor} \\
&= 5,9 \text{ L/jam}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Volume limbah yang digunakan} &= \text{debit} \times \text{td} \\
&= 5,9 \text{ L/jam} \times 9 \text{ jam} \\
&= 53,1 \text{ L} = 53 \text{ L}
\end{aligned}$$

Lampiran III

**Baku mutu limbah cair industri pelapisan logam. Berdasarkan Keputusan
Gubernur jawa timur No. 72 Tahun 2013.**

7. Industri Pelapisan Logam (Electro Plating)

BAKU MUTU AIR LIMBAH UNTUK INDUSTRI PELAPISAN LOGAM		
Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)	Beban Pencemaran Maksimum (g/m ²)
TSS	20	6
Sianida Total (CN) tersisa	0,2	0,005
Krom Total (Cr)	0,5	0,5
Krom Heksavalen (Cr ⁶⁺)	0,1	0,8
Tembaga (Cu)	0,6	-
Seng (Zn)	1,0	-
Nikel (Ni)	1,0	0,2
Kadmium (Cd)	0,05	
Timbal (Pb)	0,1	
pH	6,0 -9,0	
Volume Air limbah maksimum	20 L per m ² produk pelapisan logam	

Lampiran IV
Pengukuran Suhu dan pH

Tabel 1. Nilai pH awal dan Akhir

Tanaman Uji	Variasi Berat Basah tanaman (gr)	Variasi Laju Pembebanan Hidrolis (Liter/m ² .hari)	Nilai pH awal	Nilai pH akhir			Rata-rata
				PI	PII	PIII	
Kontrol	0	100	6,7	6,7	6,8	6,6	6,70
	0	210	6,7	6,7	6,8	6,7	6,73
Bambu air	81	100	6,7	6,9	6,9	6,8	6,87
		210	6,7	7,1	6,9	7	7,00
	198	100	6,7	7,2	7,1	7,1	7,13
		210	6,7	7,3	7,2	7,3	7,27
Lotus	81	100	6,7	7,2	7,3	7,2	7,23
		210	6,7	7,2	7,1	7,3	7,20
	198	100	6,7	7,4	7,5	7,4	7,43
		210	6,7	7,6	7,6	7,7	7,63

Tabel 2. Nilai Suhu awal dan Akhir

Tanaman Uji	Variasi Berat Basah tanaman (gr)	Variasi HLR (Liter/m ² .hari)	Nilai Suhu awal	Nilai Suhu akhir			Rata-rata
				PI	PII	PIII	
Kontrol	0	100	32	35	36	37	36
	0	210	32	28	28	27	28
Bambu air	81	100	32	34	35	34	34
		210	32	28	28	27	28
	198	100	32	33	35	33	34
		210	32	28	28	27	28
Lotus	81	100	32	32	35	34	34
		210	32	28	29	27	28
	198	100	32	34	35	35	35
		210	32	29	29	27	28

Lampiran V
Dokumentasi Penelitian



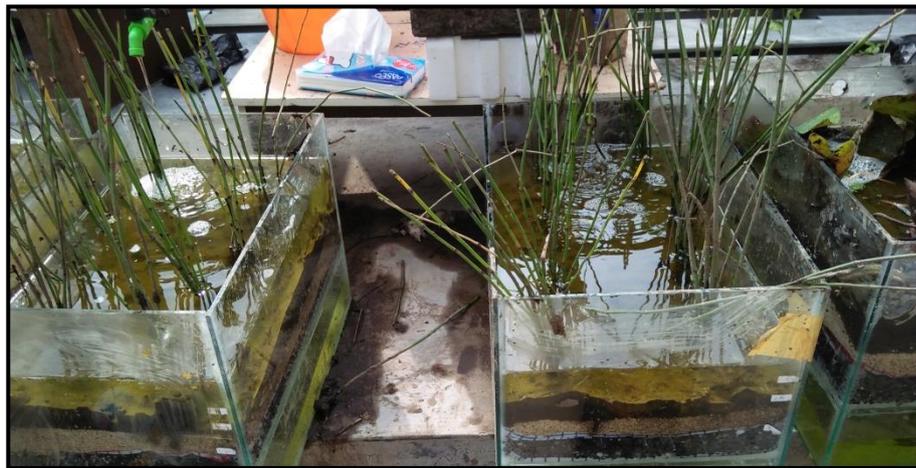
Gambar 1. Persiapan media tanam



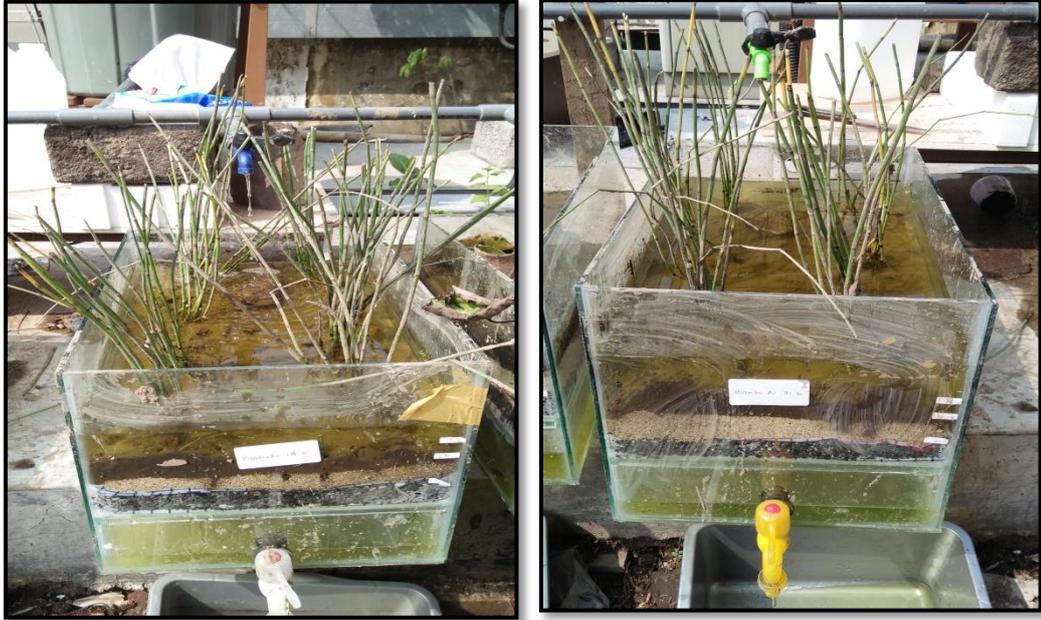
Gambar 2. Tanaman Seroja pada HLR 210 l/m².hari, Kiri (81 gr) kanan (198 gr)



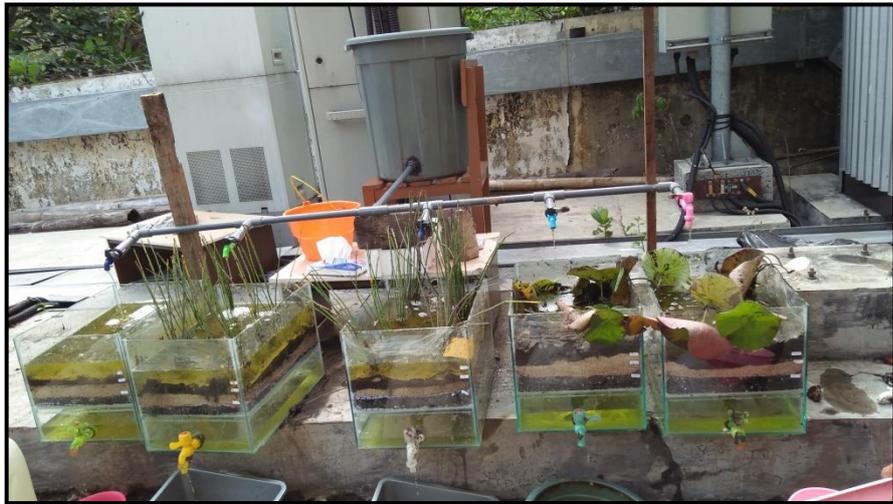
Gambar 3. Tanaman Bambu air pada HLR 210 l/m².hari,
Kiri (81 gr) kanan (198 gr)



Gambar 4. Tanaman Bambu air pada HLR 210 l/m².hari,
Kiri (81 gr) kanan (198 gr)



Gambar 5. Tanaman Bambu air pada HLR $100 \text{ l/m}^2 \cdot \text{hari}$,
Kiri (81 gr) kanan (198 gr)



Gambar 6. Reaktor Uji SSF-Wetland

Lampiran VI

Hasil Analisa Lab Terpadu Universitas Negeri Surabaya



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
LABORATORIUM TERPADU

Kampus Ketintang
Jalan Ketintang Gedung C12 Lt.1
Surabaya 60231
Telepon : +6285706067864
Email : labterpadu@yahoo.com

Hasil Analisis AAS

Nama Pemilik Sampel : Ade Risma Dwi Hanifa/ITN Malang

Nama Sampel : Limbah Elektroplating

Jumlah Sampel : 30

Logam : Nikel / Ni

No.	Nama Sampel	Kadar Ni (mg/L)	Jenis Analisis
1	1	5,955	AAS
2	2	5,719	AAS
3	3	5,343	AAS
4	4	4,532	AAS
5	5	4,538	AAS
6	6	4,524	AAS
7	7	9,52	AAS
8	8	9,52	AAS
9	9	9,53	AAS
10	10	8,62	AAS
11	11	8,2	AAS
12	12	8,16	AAS
13	13	6,073	AAS
14	14	6,073	AAS
15	15	6,102	AAS
16	16	5,197	AAS
17	17	5,05	AAS
18	18	5,175	AAS
19	19	8,12	AAS
20	20	8,13	AAS
21	21	8,13	AAS
22	22	7,52	AAS
23	23	7,53	AAS
24	24	7,52	AAS
25	25	9,81	AAS
26	26	9,93	AAS
27	27	9,99	AAS
28	28	9,374	AAS
29	29	9,33	AAS
30	30	9,22	AAS

Operator AAS




Rachmawati, S.Si

NIP. 198112272014042001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
LABORATORIUM TERPADU

Kampus Ketintang
Jalan Ketintang Gedung C12 Lt.1
Surabaya 60231
Telepon : +6285706067864
Email ; labterpadu@yahoo.com

Hasil Analisis AAS

Nama Pemilik Sampel : Ade Risma Dwi Hanifa/ITN Malang

Nama Sampel : Limbah Elektroplating

Jumlah Sampel : 30

Logam : Crom / Cr

No.	Nama Sampel	Kadar Cr (mg/L)	Jenis Analisis
1	1	4,100	AAS
2	2	4,200	AAS
3	3	4,300	AAS
4	4	3,170	AAS
5	5	3,190	AAS
6	6	3,200	AAS
7	7	3,480	AAS
8	8	3,500	AAS
9	9	3,480	AAS
10	10	3,010	AAS
11	11	3,010	AAS
12	12	3,490	AAS
13	13	5,130	AAS
14	14	5,120	AAS
15	15	5,160	AAS
16	16	4,580	AAS
17	17	4,580	AAS
18	18	4,600	AAS
19	19	5,880	AAS
20	20	5,900	AAS
21	21	5,900	AAS
22	22	4,750	AAS
23	23	4,760	AAS
24	24	4,740	AAS
25	25	6,330	AAS
26	26	6,340	AAS
27	27	6,340	AAS
28	28	6,270	AAS
29	29	6,280	AAS
30	30	6,280	AAS

Operator AAS



Rachmawati, S.Si

NIP. 198112272014042001

DAFTAR PUSTAKA

- Agusetyadevy, Imbar dkk. 2011. *Fitoremediasi Limbah Yang Mengandung Timbal (Pb) Dan Kromium (Cr) Dengan Menggunakan Kangkung Air (Ipomoea Aquatica)*. Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas teknik, Universitas Diponegoro.
- Alaerts, G dan Sumesti S. 1987. *Metode Penelitian Air*. Surabaya : Penerbit Usaha Nasional.
- Cahyani, Maulina, 2016. *Penurunan Konsentrasi Nikel (Ni) Total Dan Cod Menggunakan Tumbuhan Kayu Apu (Pistia Stratiotes L.) Pada Limbah Cair Elektroplating*. Jurusan Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Fajrin, Faruq. 2014. *Penggunaan Reaktor Subsurface Flow System Wetland (SSF) Guna Mengolah Limbah RPH*. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.
- Hadi, Syafrul. 2015. *Pengaruh Pelapisan Nikel (Ni) Terhadap Laju Korosi Pada Impeler Pompa*. Jurnal Momentum. Vol . 17 No 1, Februari 2015 .
- Hakim, Lukman dan Yayat Iman Supriyatna, 2017. *Pengambilan Logam Ni Dalam Limbah Elektroplating Dengan Proses Koagulasi Flokulasi*. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Hastim, Nur Azizah. 2016. *Potensi Fitoremediasi Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) Dalam Mereduksi Logam Berat Seng (Zn) Dari Perairan Danau Tempe Kabupaten Wajo*. Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar.
- Kelly.E.B.1997. *Ground Water Polution: Phytoremediation*.
cee.vt.edu/program_areas/enviromental/teach/gwprimer/phyto/phyto/htm.
- Keputusan Gubernur jawa timur No. 72 Tahun 2013, *Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya*.

- Lestari, Dwi Endah Lestari. 2012. *Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Domestik Dengan Metode Rawa Buatan (Constructed Wetland)*. Jurusan Kesehatan Masyarakat Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Marwati, Siti. 2007. *Karakterisasi Sifat Fisika-Kimia Limbah Cair Industri Electroplating*. Jurusan Pendidikan Kimia FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Mulyaningsih, Nani. 2013. *Alternatif Pengendalian Pencemaran Limbah Nikel-Krom Pada Industri Kecil Pelapisan Logam*. Fakultas Teknik Universitas Tidar Magelang.
- Munawaroh, Ulum. 2013. *Penyesihan Parameter Pencemar lingkungan pada Limbah Cair industri Tahu menggunakan efektif mikroorganisme 4 (EM4) serta Pemanfaatannya*. Bandung : Jurusan Teknik Lingkungan (Institut Teknologi Nasional Bandung).
- Ningsih, Indah Sri Rahma. 2014. *Fitoremediasi Zn Dari Limbah Cair Pabrik Pengolahan Karet Dengan Pemanfaatan Pistia Stratiotes L.* Jurusan Biologi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Kampus Binawidya Pekanbaru.
- Nur, Fatmawati. 2013. *Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd)*. Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alaudin Makassar.
- Nurhasni, dkk. 2013. *Pengolahan Limbah Industri Elektroplating Dengan Proses Koagulasi Flokulasi*. Jurusan Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah.
- Nurhasni. 2013. *Pengolahan Limbah Industri Elektroplating Dengan Proses Koagulasi Flokulasi*. Jurnal Valensi Vol. 3 No.1, Mei 2013.
- Nurkhasanah, Silviatun. 2015. *Kandungan Logam Berat Kromium (cr) Dalam Air, Sedimen, dan Ikan Nila (Oreochromis niloticus) serta karakteristik biometrik dan kondisi histologisnya di Sungai cimanuk Lama, Kabupaten Indramayu*. Prodi Pengelolaan Sumberdaya Perairan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Prihartanti, Wenny Dwi Ratna dkk. 2012. Studi Penurunan Kromium dan Nikel dalam Pengolahan Limbah Cair Elektroplating Dengan Metode Elektroplating dengan Metode Elektrokoagulasi. Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP.
- Rahadian, Rahan, 2017. *Efisiensi Penurunan Cod Dan Tss Dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Kayu Apu (Pistia Stratiotes L.) Studi Kasus: Limbah Laundry*. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Uversitas Diponegoro.
- Ratnawati, Rhenny dan Muhammad Al Kholif. 2018. *Aplikasi Media Batu Apung Pada Biofilter Anaerobik Untuk Pengolahan Limbah Cair Rumah Potong Ayam*. Surabaya : Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas PGRI Adi Buana (UNIPA).
- Serang, Lia Kurniawati Odar. 2018. *Fitoremediasi Air Tercemar Logam Kromium Dengan Menggunakan Sagittaria Lancifolia Dan Pistia Stratiotes Serta Pengaruhnya terhadap pertumbuhan kangkung Darat (Ipomea reptans)*. Malang: jurusan tanah. Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.
- Sitompul, Debora. 2013. *Pengolahan Limbah Cair Hotel Aston Braga City Walk Dengan Proses Fitoremediasi Menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok*. Jurusan teknik lingkungan, Institut Teknologi Nasional.
- SNI 06-6989.17-2004. *Air Dan Air Limbah – Bagian 17: Cara Uji Krom Total (Cr- T) Dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – Nyala*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- SNI 06-6989.18-2004. *Air Dan Air Limbah – Bagian 18: Cara Uji Nikel (Ni) Dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – Nyala*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- SNI 06-6989.3-2004. *Air Dan Air Limbah- Bagian 3: Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid, TSS) Secara Gravimetri*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).

- Wandhana, Rido. 2013 . *Pengolahan Air Limbah Laundry secara Alami (Fitoremediasi) Dengan Tanaman Kayu Apu (Pistia Stratiotes)*. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Pembangunan Nasional.
- Wirawan, Wiweka Arif dkk. 2014. *Pengolahan Limbah Cair Domestik Menggunakan Tanaman Kayu Apu (Pistia Stratiotes L.) Dengan Teknik Tanam Hidroponik Sistem Dft (Deepflowtechnique)*. Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya.
- Yuliasuti, Rieke. *Tinjauan Pengolahan Limbah Cair Industri Elektroplating*. [scribd.com/document/341927503/elektroplating](https://www.scribd.com/document/341927503/elektroplating).