

SKRIPSI

**UJI KEMAMPUAN KAYU APU (*Pistia Stratiotes L.*)
DALAM MENURUNKAN KONSENTRASI KROM DAN BOD
PADA LIMBAH PENYAMAKAN KULIT**

Oleh :

Lalu Irwan

0026001



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

2005

1371112

(1) members of society who are engaged in the
work of the world and who are engaged in the
work of the world and who are engaged in the

1371112
1371112
1371112

MEMBERS OF SOCIETY WHO ARE ENGAGED IN THE
WORK OF THE WORLD AND WHO ARE ENGAGED IN THE
WORK OF THE WORLD AND WHO ARE ENGAGED IN THE
WORK OF THE WORLD AND WHO ARE ENGAGED IN THE
WORK OF THE WORLD AND WHO ARE ENGAGED IN THE

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**UJI KEMAMPUAN KAYU APU (*Pistia Stratiotes L.*)
DALAM MENURUNKAN KONSENTRASI KROM DAN BOD
PADA LIMBAH PENYAMAKAN KULIT**

Oleh :
Lalu Irwan
0026001

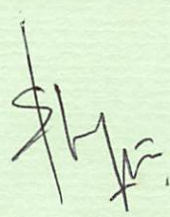
Menyetujui
Tim Pembimbing

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Hery Setyobudiarso, MSi.
Nip. 131956844

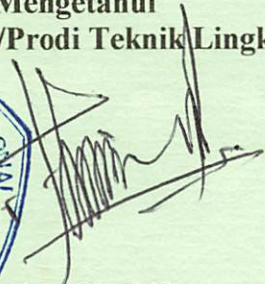
Dosen Pembimbing II



Evy Hendriarianti, ST. MMT
Nip. P. 1030300382

Mengetahui
Ketua Jurusan/Prodi Teknik Lingkungan




Sudiro, ST. MT
Nip. Y. 1039900327

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

**UJI KEMAMPUAN KAYU APU (*Pistia Stratiotes L.*)
DALAM MENURUNKAN KONSENTRASI KROM DAN BOD
PADA LIMBAH PENYAMAKAN KULIT**

Oleh :
Lali Irwan
0026001

Telah dipertahankan di hadapan Dewan Penguji pada Ujian Komprehensif Skripsi Jurusan/Program Studi Teknik Lingkungan Jenjang Strata Satu (S-1), dan diterima untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada tanggal 19 September 2005.

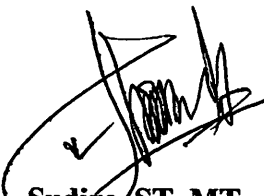
Mengetahui
Panitia Ujian Komprehensif Skripsi

Ketua



Ir. Agustina Nurul Hidayati, MTP
Nip. Y. 103990214


Sekretaris



Sudiro, ST. MT
Nip. Y. 1039900327

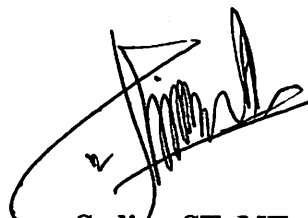
Dewan Penguji

Dosen Penguji I



Candra Dwiratna, ST. MT
Nip. P. 1030000349

Dosen Penguji II



Sudiro, ST. MT
Nip. P. 1039900327

LEMBAR PERSEMBAHAN

" Tak ada satu kekuatan ataupun kekuasaan akan tercipta dari seorang manusia tanpa ridho-Nya". Inilah satu bait pernyataan yang keluar dari hatiku untuk mengakui kebesaran-Nya. Lantunan syukur yang pertama ku persembahkan kepada *ALLAH SWT*. Zat teragung yang ku sembah atas segala ridho yang telah ku terima sampai saat ini.

"Satu tetes keringat adalah upayamu, satu kalimat do'a adalah iringanmu satu tetes tangis adalah harapanmu dan sedikit senyuman adalah kekuatan terbesarku". Kupersembahkan karya kecil ini dan kuucapkan terima kasih yang tak ternilai untuk ayahanda tercinta *H. L. Sahabudin, SH* dan ibunda tercinta *Hj. Husnul Khotimah* atas semua yang telah diberikan dan selalu mengalir tak henti-hentinya. Tak ada sesuatu apapun saat ini yang dapat ku berikan selain karya ini dan ucapan kata
TERIMA KASIH.....TERIMA KASIH.....

Kakaku tercinta *L. Achmad Sukarman SSTP* dan kakak iparku *K' Lia* terima kasih atas segala dukungan dan setiap kalimat yang kalian ucapkan
Adalah satu langkah semangatku

Tak lupa juga buat keponakan *DHIO...UNCLE BOB* pengen gendong kamu.
Buat adikku *L. Muhlis J.*(kuliah yang rajin) Dan *ani* (jangan suka ngelawan gue&ortu)

Rekan-rekan Milenium (angkatan 2000) kalian adalah teman seperjuanganku.
Kekompakan, keuletan dan kekonyolan kalian tak akan aku lupakan. *Erwin* (makaci atas bantuannya), *Sigit* (linda emang ponjolmu), *elinda* (jangan duain sigit lagi..), *Dewi Batu* (jodohmu pasti datang&lupain yang tu..tu..), *Trias* (buruan nikah, kasian dhiat udah kebelet tuh..), *Aziz* (kayaknya kamu harus cepet nikah, masa ga bosan nonton tok), *samsi* (makaci udah bantu aku), *Iyan* jangkung (teorimu bolehlah, praktekin dong...masa 23 tahun disimpen tok), *nila* (thanks dulu dah jagain aku, maapin klo aku kecewaun kamu), *linda betty* (colly selama ne aku sering ngerjain kamu) *Ketut* "THANKS BUAT IDE GILANYA". Buat *Om Bowiet, Ali, Obas* dan semua teman-teman yang belum lulus pesanku "Buruan lulus entar keburu tua"

Buat teman-teman kos *Faris Roemboek* (cari pacar sana ntar kamu jadi *GUY LHO..*), *karisma* (kita bakal ketemu lagi heb), *Ko-ko* (jangan malas kerjain tugas, tahun depan kan mau wisuda he..he..), *Angga* (jangan lupa pake pengaman, biar AMAN & buruan tamat), *Hendra* (makasi buat komputernya, malam2 perjamuannya, jangan judi lagi&jangan malas kuih...)dan terima kasih atas segala bantuan kalian dan telah rela menemaniku menghabiskan malam di depan komputer dan di depan ITU...TU... Satu kalimat buat kalian "*Gue Suka Gaya Lho tapi ingat kiamat sudah dekat*" dan semua teman-teman yang namanya gak bisa kusebutin semua Terima Kasih dan aku ga bakal lupa ma kalian.

Buat adik2 kelasku, *Nini maniez, gofhur takupas, Putri, gia icak, bengky Putu boy* dan semua yang ga bisa aku sebutin, makaci..selama ne dah baik ma aku. pesanku buruan lulus kayak gue neh...

spesial buat **some one** yang setahun belakangan ini jadi inspirasiku untuk Buruan nyelesein skripsi ne dan atas motivasi yang kamu berikan padaku
Terima Kasih dan I Love U

Buat orang-orang yang selama ini membantuku menyelsaikan studi ini baik yang berbentuk moral dan material yang tidak dapat kusebutkan
Satu persatu ku ucapkan

TERIMA KASIH.....TERIMA KASIH.....

By. Lalu..alias bob... alias orang bandel tapi sukses ha...ha...

UJI KEMAMPUAN KAYU APU (*Pistia Stratiotes L.*) DALAM MENURUNKAN KONSENTRASI KROM DAN BOD PADA LIMBAH PENYAMAKAN KULIT.

Lalu irwan, 2005

Jurusan teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional Malang.

Pembimbing : Hery Setyobudiarso Dan Evy Hendriarianti

ABSTRAKSI

Limbah yang dihasilkan oleh perusahaan penyamakan kulit memiliki konsentrasi krom dan BOD yang cukup tinggi. Untuk mendapatkan kualitas air limbah yang baik perlu dilakukan suatu sistem pengolahan yang dapat menurunkan konsentrasi krom dan BOD sehingga memenuhi standart baku mutu air limbah. Mengingat besarnya biaya pengolahan air limbah maka peneliti mencari alternatif sistem pengolahan yang relatif murah dan ramah lingkungan. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan tanaman kayu apu yang telah diketahui memiliki kemampuan dalam menyerap logam berat dan menurunkan nilai BOD.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan kayu apu dan seberapa besar pengaruh pemberian nutrisi (fosfor) dan aerasi bagi kayu apu dalam menurunkan konsentrasi krom dan BOD pada limbah penyamakan kulit. Penelitian ini menggunakan sistem batch tanpa resirkulasi. Kerapatan kayu apu yang digunakan adalah 100 mg/cm². Parameter yang diuji adalah konsentrasi krom dan BOD. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah rancangan acak lengkap dan data hasil penelitian diolah dengan uji anova, uji korelasi dan uji regresi.

Dari hasil analisa data menunjukkan kayu apu mampu menurunkan konsentrasi krom sebesar 28,08 % (konsentrasi akhir 425,97 mg/l dengan konsentrasi awal 592,27 mg/l) dan menurunkan nilai BOD sebesar 40,87 % (nilai BOD akhir 438,03 mg/l dengan nilai BOD awal 760,97 mg/l) yang didapatkan dari variasi kayu apu tanpa pemberian nutrisi dan aerasi. Sedangkan kayu apu yang divariasikan dengan pemberian nutrisi dan aerasi mampu menurunkan konsentrasi krom sebesar 70,40 % (konsentrasi akhir 175,30 mg/l dengan konsentrasi awal 592,27 mg/l) hal ini dapat dilihat dari kondisi fisik kayu apu yakni adanya perubahan warna daun dari warna hijau muda menjadi coklat kekuning – kuning dan menurunkan nilai BOD sebesar 77,54 % (nilai BOD akhir 170,88 mg/l dengan nilai BOD awal 760,97 mg/l). Variasi nutrisi dan aerasi yang optimum dalam menurunkan konsentrasi krom dan BOD adalah 1,5 gr fosfor dan aerasi sebesar 0,075 kg/h. Perbedaan hasil yang cukup besar tersebut disebabkan karena adanya nutrisi dan aerasi dimana kita ketahui nutrisi dapat meningkatkan kemampuan akar dalam menyerap krom, sedangkan aerasi digunakan oleh mikroba sebagai substrat dalam menguraikan zat organik.

Kata Kunci : kayu apu, removal krom, penurunan BOD, nutrisi, aerasi.

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga kami dapat melaksanakan dan menyelesaikan Skripsi ini.

Berbagai macam kemudahan dan dukungan kami dapatkan selama masa persiapan, masa pelaksanaan maupun pada masa penyusunan Skripsi ini. Untuk itu, pada kesempatan ini kami sampaikan rasa terima kasih yang sedalam – dalamnya kepada yang terhormat :

1. Kedua Orang Tua dan keluarga yang selalu memberi semangat kepada saya selama proses pengerjaan Skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ir. Hery Setyobudiarso, MSi. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir kami di Teknik Lingkungan ITN Malang.
3. Ibu Evy Hendriarianti, ST. MMT. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir kami di Teknik Lingkungan ITN Malang.
4. Bapak Sudiro, ST. MT. selaku Dosen Penguji Dan Ketua Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang.
5. Ibu Chandra Dwiratna ST. MT. selaku Dosen Penguji.
6. Semua Dosen Pengajar Di Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang.
7. Rekan – rekan angkatan Milenium (00) yang selalu membantu dan seluruh mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang yang saya cintai.

Kami menyadari bahwa laporan ini masih banyak kekurangan baik dalam format penyusunan, bahasa, kajian dan hal – hal lain yang masih dinilai kurang. Oleh sebab itu, kami sangat berharap adanya kajian – kajian yang ditujukan pada laporan ini, sehingga akan dapat membangun guna perbaikan dan kesempurnaan dalam penyusunan Skripsi selanjutnya.

Akhir kata semoga Skripsi ini memberikan dan menyajikan gambaran seluruh rangkaian dan hasil penelitian. Harapan kami semoga Skripsi ini dapat bermanfaat

bagi penyusun sendiri dan mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan pada khususnya dan seluruh pembaca pada umumnya. Sekian dan terima kasih.

Malang, September 2005

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERSETUJUAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
LEMBAR PERSEMBAHAN	
ABSTRAK	
KATA PENGANTAR	
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
1.6 Kerangka Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Air Limbah	5
2.1.1 Sumber Asal Dari Air limbah.....	5
2.1.2 Karakteristik Air Limbah	5
2.1.1 Sifat – sifat Air Limbah	7
2.2 Industri Penyamakan Kulit	7
2.2.1 Proses Pengerjaan Basah (<i>Beam House</i>)	8
2.2.2 Proses Penyamakan (<i>Tanning</i>)	8
2.2.3 Proses Penyelesaian (<i>Finishing</i>)	9

2.3 Krom	11
2.3.1 Sifat dan Kegunaan.....	13
2.3.2 Krom Sebagai Logam Berat	13
2.4 Biological Oxygen Demand (BOD)	14
2.5 Kayu Apu (<i>Pistia Stratiotes L.</i>)	14
2.5.1 Mekanisme Penyerapan Logam Oleh Tumbuhan	15
2.5.2 Penurunan Nilai BOD.....	16
2.5.3 Aerasi	16
2.5.4 Nutrisi	17

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	19
3.2 Variabel Penelitian	19
3.2.1 Variabel Terikat.....	19
3.2.2 Variabel Bebas.....	19
3.3. Model Reaktor	19
3.4. Cara Kerja.....	20
3.4.1 Pengambilan Sampel	20
3.4.2 Analisa Pendahuluan	20
3.4.3 Pelaksanaan Percobaan	20
3.4.3.1 Tahap Persiapan	20
3.4.3.2 Tahap Penelitian	20
3.5 Metode Analisa	21
3.6 Kerangka Pemikiran	23

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Prosentase Removal Krom	24
4.1.1 Analisa Deeskriptif.....	24
4.1.2 Analisa Anova.....	26
4.1.3 Analisa Korelasi.....	31
4.1.4 Analisa Regresi	35

4.2 Nilai Biological Oxygen Demand (BOD)	41
4.2.1 Analisa Deskriptif.....	41
4.2.2 Analisa Anova.....	43
4.2.3 Analisa Korelasi.....	47
4.2.4 Analisa Regresi	50
4.3 Pembahasan.....	57
4.3.1 Penurunan Kadar Krom	57
4.3.2 Penurunan Nilai BOD	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran - saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Baku Mutu Air Limbah.....	10
Tabel 2.2	Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Penyamaka Kulit	11
Tabel 4.1	Prosentase Removal Krom Kumulatif	24
Tabel 4.1.2.1.a	Hasil Uji Anova Variasi Perlakuan Terhadap Prosentase Removal Krom (Cr) Untuk T = 4 Hari	26
Tabel 4.1.2.1.b	Hasil Uji Post Hoc Test Dalam Homogeneous Subset	27
Tabel 4.1.2.2.a	Hasil Uji Anova Variasi Perlakuan Terhadap Prosentase Removal Krom (Cr) Untuk T = 8 Hari	27
Tabel 4.1.2.2.b	Hasil Uji Post Hoc Test Dalam Homogeneous Subset	29
Tabel 4.1.2.3.a	Hasil Uji Anova Variasi Perlakuan Terhadap Prosentase Removal Krom (Cr) Untuk T = 12 Hari	29
Tabel 4.1.2.3.b	Hasil Uji Post Hoc Test Dalam Homogeneous Subset	30
Tabel 4.1.3.a	Korelasi Antara Prosentase Removal Krom Dengan Variasi Aerasi Dan Nutrisi Dengan Lama Perlakuan 4 Hari.....	31
Tabel 4.1.3.b	Korelasi Antara Prosentase Removal Krom Dengan Variasi Aerasi Dan Nutrisi Dengan Lama Perlakuan 8 Hari.....	31
Tabel 4.1.3.c	Korelasi Antara Prosentase Removal Krom Dengan Variasi Aerasi Dan Nutrisi Dengan Lama Perlakuan 12 Hari.....	32
Tabel 4.1.4.a	Regresi Berdasarkan Lama Perlakuan 4 Hari	35
Tabel 4.1.4.b	Regresi Berdasarkan Lama Perlakuan 8 Hari	35
Tabel 4.1.4.c	Regresi Berdasarkan Lama Perlakuan 12 Hari	36
Tabel 4.2	Prosentase Nilai BOD Kumulatif.....	41
Tabel 4.2.2.1.a	Hasil Uji Tabel Anova Variasi Perlakuan Terhadap Penurunan Nilai BOD Untuk T = 4 Hari	43
Tabel 4.2.2.1.b	Hasil Uji Post Hoc Test Dalam Homogeneous Subset	44
Tabel 4.2.2.2.a	Hasil Uji Anova Variasi Perlakuan Terhadap Penurunan Nilai BOD Untuk T = 8 Hari	44

Tabel 4.2.2.2.b Hasil Uji Post Hoc Test Dalam Homogeneous Subset	45
Tabel 4.2.2.3.a Hasil Uji Anova Variasi Perlakuan Terhadap Penurunan Nilai BOD Untuk T = 12 Hari	46
Tabel 4.2.2.3.b Hasil Uji Post Hoc Test Dalam Homogeneous Subset	47
Tabel 4.2.3.a Korelasi Antara Penurunan Nilai BOD Dengan Kelompok Variasi Aerasi Dan Nutrisi Dengan Lama Perlakuan 4 Hari	47
Tabel 4.2.3.b Korelasi Antara Penurunan Nilai BOD Dengan Kelompok Variasi Aerasi Dan Nutrisi Dengan Lama Perlakuan 8 Hari	48
Tabel 4.2.3.c Korelasi Antara Penurunan Nilai BOD Dengan Kelompok Variasi Aerasi Dan Nutrisi Dengan Lama Perlakuan 12 Hari	48
Tabel 4.2.4.a Regresi Berdasarkan Lama Perlakuan 4 Hari	50
Tabel 4.2.4.b Regresi Berdasarkan Lama Perlakuan 8 Hari	51
Tabel 4.2.4.c Regresi Berdasarkan Lama Perlakuan 12 Hari	51
Tabel 4.3.1 Prosentase Removal Krom Komulatif	58
Tabel 4.3.2 Penurunan Nilai BOD Komulatif.....	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.5	Tanaman kayu apu	15
Gambar 3.3	Gambar Alat.....	19
Gambar 4.1.a	Grafik Prosentase Removal Krom Komulatif	25
Gambar 4.1.b	Grafik Prosentase Removal Krom Komulatif.....	25
Gambar 4.2.a	Grafik Penurunan Nilai BOD Komulatif.....	42
Gambar 4.1.b	Grafik Penurunan Nilai BOD Komulatif	42

LAMPIRAN

- Lampiran I Metode Analisa Krom Dan BOD
- Lampiran II Hasil Analisa Krom Dan BOD
- Lampiran III Hasil Uji Statistik
- Lampiran IV Dokumentasi

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air merupakan substrat yang paling parah akibat pencemaran, berbagai jenis pencemar baik yang domestik maupun non domestik berdampak mencemari badan air. Akibat semakin meningkatnya masalah pencemaran, maka jumlah air yang dapat digunakan secara langsung juga semakin berkurang (*Suriawiria U, 1977*).

Penurunan ketersediaan air merupakan permasalahan yang sangat vital bagi kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya, baik untuk masa sekarang dan masa yang akan datang, untuk itu ketersediaan air harus diperhatikan dalam segi kualitas, kuantitas dan kontinuitasnya.

Dewasa ini banyak cara dan usaha untuk menekan atau menghambat seminimal mungkin efek-efek negatif yang diakibatkan polutan terhadap badan air dan kehidupan di dalamnya, dan juga metode-metode baru untuk memurnikan dan menyehatkan kembali air buangan, banyak dicoba dan dikembangkan.

Pesatnya pertumbuhan industri, baik di negara maju maupun di negara yang sedang berkembang akan selalu seiring dengan masalah pencemaran lingkungan. Air buangan industri penyamakan kulit merupakan salah satu sumber pencemar yang dapat merusak kualitas lingkungan. Parameter utama yang dapat menunjukkan terjadinya pencemaran oleh air buangan industri penyamakan kulit adalah TSS, BOD, COD, pH, krom total, minyak, lemak dan kekeruhan. Parameter warna air buangan merupakan pencemar yang dapat dilihat secara nyata, dan hal ini cukup mengganggu dari segi estetika lingkungan.

Pada industri penyamakan kulit, senyawa krom merupakan bahan penyamak kulit yang banyak digunakan. Sisa larutan penyamak kulit yang dibuang ke lingkungan akan menambah ion logam dalam badan air. Krom merupakan salah satu bahan yang beracun, yang dapat mengakibatkan kanker.

Cara yang umum dipakai untuk mengolah air buangan industri penyamakan kulit adalah dengan penambahan zat kimia, flokulasi, serta cara-cara biologi, sehingga dibutuhkan biaya operasi dan pemeliharaan yang cukup mahal.

Pada penelitian ini dilakukan upaya agar mendapatkan cara yang praktis dan ekonomis untuk menurunkan kandungan krom yang terkandung dalam air buangan industri penyamakan kulit dengan menggunakan kayu apu (*Pistia stratiotes L.*). Hal ini merupakan suatu upaya pengolahan limbah yang bersifat ramah lingkungan.

Kayu apu adalah jenis gulma air yang dapat ditemukan di perairan air tawar. Dalam penelitian ini dipilih kayu apu (*Pistia stratiotes L.*) sebagai media uji karena sifat pertumbuhannya yang mudah dan cepat serta kemampuannya untuk menyaring air dari pencemaran logam berat. Dengan kemampuan yang dimiliki oleh kayu apu khususnya akar yang mampu menyerap, mengendapkan dan mengakumulasi logam dalam air limbah diharapkan dapat meningkatkan kualitas air limbah yang mengandung logam berat, sehingga akan membantu menurunkan biaya investasi, operasi dan pemeliharaan yang diperlukan bagi instalasi pengolahan air limbah.

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimana kemampuan kayu apu dalam penurunan konsentrasi krom dan BOD dalam limbah penyamakan kulit?
2. Seberapa besar pengaruh aerasi dan nutrisi terhadap kemampuan kayu apu dalam menurunkan konsentrasi krom dan BOD dalam limbah penyamakan kulit?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan kayu apu dalam menurunkan konsentrasi krom dan BOD dalam limbah penyamakan kulit.
2. Mengetahui seberapa besar pengaruh aerasi dan nutrisi (fosfor) terhadap kemampuan kayu apu dalam menyerap krom dan menurunkan nilai BOD.

1.4. Manfaat Penelitian

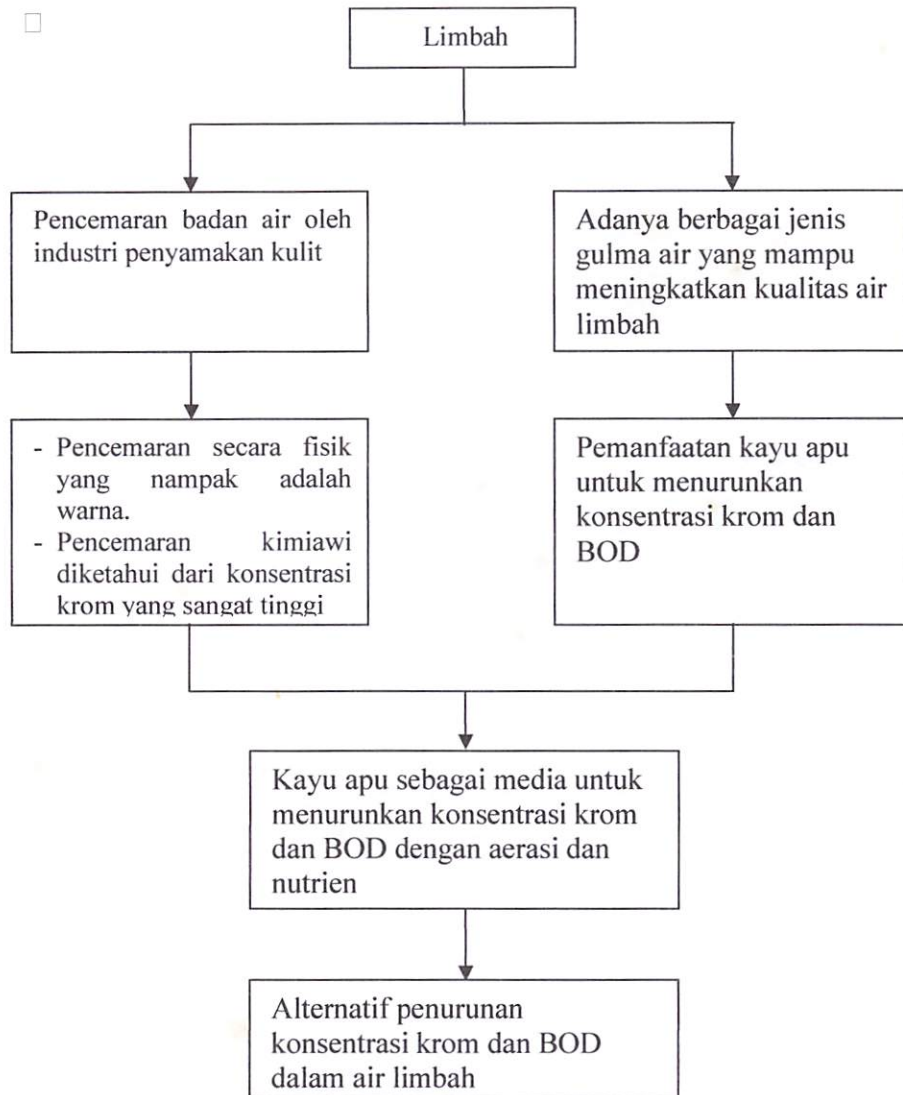
Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui kemampuan kayu apu dalam menurunkan konsentrasi krom dan BOD pada limbah industri penyamakan kulit yang nantinya dapat digunakan sebagai alternatif pengolahan air limbah yang ramah lingkungan.

1.5. Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini meliputi hal-hal berikut:

1. Pelaksanaan penelitian dilaksanakan dalam skala laboratorium.
2. Parameter yang diteliti adalah penurunan konsentrasi krom dan BOD pada air limbah uji.
3. Sampel air limbah yang digunakan adalah limbah industri penyamakan kulit.
4. Media yang digunakan adalah kayu apu
5. Membuat kolom adsorpsi aliran diam (batch)
6. Melakukan analisis kandungan krom dan BOD pada awal dan setiap fase percobaan (4, 8, dan 12 hari).
7. Hanya melakukan pengamatan secara fisik pada tanaman kayu apu, yakni perubahan pada warna daun.

1.6. Kerangka Pemikiran



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air Limbah

Air limbah adalah kotoran dari masyarakat dan rumah tangga, juga berasal dari industri, air tanah, air permukaan serta buangan lainnya. Dengan demikian air buangan ini merupakan hal yang bersifat kotoran umum.

2.1.1 Sumber Asal Dari Air Limbah Adalah :

1. Air limbah rumah tangga

Sumber air limbah rumah tangga dari masyarakat adalah berasal dari permukaan seperti air dari kamar mandi, wc, tempat cuci dan juga berasal dari daerah perkantoran serta daerah rekreasi.

2. Air limbah industri

Air limbah industri adalah air limbah yang berasal dari aktifitas industri, hal ini bergantung pada jenis dan besar kecilnya industri, derajat penggunaan air, pengolahan air limbah yang ada.

3. Air limbah rembesan

Air limbah merupakan air limbah yang berasal dari air hujan dan yang merembes ke dalam tanah yang memungkinkan penyusupan ke saluran air limbah (*Sugiharto, 1987*).

2.1.2. Karakteristik Air Limbah

Sesuai dengan sumber asalnya, maka air buangan mempunyai komposisi yang sangat bervariasi dari setiap tempat dan setiap saat. Secara garis besar, komposisi atau karakteristik air limbah dapat dibedakan berdasarkan parameter fisik, kimia, biologis. Adapun parameter – parameter tersebut adalah sebagai berikut :

1. Parameter Fisik

❖ Temperatur

Suhu air limbah biasanya lebih tinggi dari pada suhu air bersih dan berpengaruh terhadap aktifitas biologis, kelarutan gas, dan

viskositas di dalam proses sedimentasi secara reduksi kimia dan biokimia.

❖ Total Solid

Total solid terdiri dari bahan padat tidak terlarut atau bahan padat terapung serta senyawa yang terlarut dalam air.

❖ Warna

Warna yang ada pada air limbah merupakan sifat fisik kualitatif yang dapat dijadikan penilaian terhadap limbah cair.

❖ Bau

Senyawa utama yang menyebabkan air limbah berbau adalah hidrogen sulfida (H_2S) dan senyawa – senyawa lain yang dilepaskan pada saat air limbah terurai secara biologis pada kondisi anaerobik.

❖ Kekeruhan

Kekeruhan disebabkan karena adanya partikel bahan yang tersuspensi seperti tanah liat, kwarts, sisa tanaman dan sebagainya.

2. Parameter Kimiawi

❖ Bahan Organik

Bahan organik yang terlarut akan menyebabkan berkurangnya oksigen yang terlarut dalam air.

❖ Bahan Anorganik

Kandungan zat anorganik yang terdapat dalam limbah cair antara lain : arsen, barium, besi, klorida, kadmium, kromium, sianida.

❖ Gas

Gas – gas yang terdapat dalam air limbah adalah hidrogen sulfida, metan dan oksigen.

3. Parameter Biologis

Kandungan yang terdapat dalam air limbah dan dijadikan sebagai parameter biologis adalah mikroorganisme, tumbuhan air dan hewan air di dalamnya (Suriawiria U, 1977).

2.1.3. Sifat – Sifat Air Limbah

Secara umum air limbah yang kita temui di sekitar kita mempunyai sifat – sifat sebagai berikut :

➤ Sifat – Sifat Fisik Air Limbah

Pengukuran yang dapat dilakukan untuk sifat fisik air limbah berupa penentuan derajat kekotoran air limbah secara fisik mudah terlihat, adapun sifat – sifat fisik yang penting adalah kandungan zat padat, kejernihan, bau, warna, serta temperatur.

➤ Sifat – Sifat Biologis Air limbah

Pemeriksaan biologis di dalam air limbah dimaksudkan untuk memisahkan bakteri – bakteri patogen dan jenis mikroba yang ada di dalam air, keterangan biologis ini diperlukan untuk mengukur kualitas air limbah sebelum dibuang ke badan air.

➤ Sifat – Sifat Kimia Air Limbah

Kandungan bahan kimia pada air limbah dapat merugikan lingkungan, seperti bahan organik terlarut yang dapat menghabiskan kandungan oksigen di dalam air limbah serta akan menimbulkan bau yang tidak sedap, selain itu akan lebih berbahaya apabila bahan tersebut merupakan bahan beracun.

2.2. Industri Penyamakan Kulit

Industri penyamakan kulit adalah industri yang mengolah kulit mentah menjadi kulit jadi atau kulit tersamak dengan menggunakan bahan penyamak pada proses penyamakan . Dalam industri penyamakan kulit, ada tiga tahapan pokok proses produksi, yaitu :

1. Proses Pengerjaan Basah (*Beam House*)
2. Proses Penyamakan (*Tanning*)

3. Proses Penyelesaian Akhir (*Finishing*)

2.2.1. Proses Pengerjaan Basah (*Beam House*)

Proses ini meliputi beberapa tahap pemrosesan, yaitu :

1. Perendaman (*Soaking*)

Maksud dari perendaman ini adalah untuk mengembalikan sifat – sifat kulit seperti keadaan semula serta mengeluarkan kandungan garam.

2. Pengapuran (*Liming*)

Yaitu proses yang bertujuan untuk menghilangkan bulu dan kelenjar minyak, menghilangkan zat – zat kulit yang tidak diperlukan, serta menghilangkan semua zat – zat yang bukan kolagen.

3. Pembelahan (*Splitting*)

Adalah proses pembelahan kulit yang dikerjakan dengan mesin split menjadi dua, lapisan atas yang mempunyai kualitas yang lebih baik dari pada lapisan di bawahnya.

4. Pembuangan Kapur (*Deliming*)

Adalah proses pembuangan kadar kapur dalam kulit dan menghilangkan pembengkakan pada kulit sehingga menjadi lemas.

5. Bating

Proses ini bertujuan untuk membersihkan kulit.

6. Pengasaman

Proses ini bertujuan untuk mengasamkan kulit agar kulit berada pada kondisi pH 3 – 3,5, menghilangkan sisa kapur yang masih ketinggalan, menghilangkan noda – noda besi yang diakibatkan oleh Na_2S dalam pengapuran agar kulit menjadi putih bersih.

2.2.2. Proses Penyamakan (*Tanning*)

Proses penyamakan disesuaikan dengan jenis kulit. Proses penyamakan ini bertujuan untuk memberikan warna coklat atau kemerahan, bersifat kaku dan untuk menghasilkan kulit yang lemas dan tahan terhadap panas.

Ditinjau dari bahan penyamak yang digunakan ada beberapa macam penyamakan yaitu :

1. Penyamakan Nabati

Bahan penyamak nabati berasal dari tumbuh – tumbuhan yang mengandung bahan penyamak misalnya : kulit atau biji akasia, sagawe, tengguli, mahoni, kayu qubracho, eikien, gambir, teh, manggis dan lain – lain. Sedangkan di PT. Kasin sendiri menggunakan kulit akasia sebagai bahan pewarna pada kulit.

2. Penyamakan Mineral

Jenis penyamakan ini menggunakan bahan penyamak mineral yaitu krom. PT. Kasin juga menggunakan krom sebagai bahan penyamak.

3. Penyamak Minyak

Jenis penyamakan ini menggunakan bahan penyamak yang berasal dari minyak ikan hiu yang biasanya disebut minyak kasar.

2.2.3. Proses Penyelesaian (*Finishing*)

Pada proses ini bertujuan untuk menyempurnakan penampilan kulit jadi, memperkuat warna dasar kulit, mengkilapkan, menghaluskan, menutup cat atau warna dasar yang tidak rata.

Parameter – parameter dalam air limbah industri dapat digolongkan berdasarkan Surat Keputusan Gubernur JawaTimur, No. 45 Tahun 2002, mengenai baku mutu air limbah bagi industri dan kegiatan usaha lainnya di Jawa Timur, yang dibagi dalam 4 golongan yaitu golongan I, II, III, IV seperti yang terlihat pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah

Parameter	Satuan	Golongan Baku Mutu Limbah Air Limbah			
		I	II	III	IV
Fisik :					
Temperatur	^o C	35	38	40	45
Zat padat tersuspensi	mg/l	1500	2000	4000	5000
Zat padat terlarut	mg/l	100	200	200	500
Kimia :					
pH	mg/l	6-9	6-9	6-9	6-9
Besi	mg/l	5	10	15	20
Mangan	mg/l	0,5	2	5	10
Barium	mg/l	1	2	3	5
Tembaga	mg/l	1	2	3	5
Seng	mg/l	5	10	15	20
Krom heksavalen	mg/l	0,05	0,1	0,5	2
Krom total	mg/l	0,1	0,5	1	2
Cadmium	mg/l	0,01	0,05	0,1	1
Raksa	mg/l	0,0001	0,002	0,005	0,01
Timbal	mg/l	0,1	0,5	1	3
Timah putih	mg/l	2	3	4	5
Arsen	mg/l	0,005	0,1	0,5	1
Selenium	mg/ mg/l	0,01	0,05	0,5	1
Nikel	mg/l	0,1	0,2	0,5	1
Kobalt	mg/l	0,2	0,4	0,6	1
Sianida	mg/l	0,05	0,1	0,5	1
Sulfida	mg/l	0,01	0,06	0,1	1
Fluorida	mg/l	1,5	15	20	30
Klorin bebas	mg/l	0,02	0,03	0,04	0,05
Amoniak bebas	mg/l	0,5	1	5	20
Nitrat	mg/l	10	20	30	50
Nitrit	mg/l	0,06	1	3	5
BOD ₅	mg/l	30	50	150	300
COD	mg/l	80	100	300	600
Deterjen anionik	mg/l	0,5	1	10	15
Fenol	mg/l	0,01	0,05	1	2
Minyak & Lemak	mg/l	1	5	15	20
PCB		-	-	-	-

(Sumber : Keputusan Gubernur Jawa Timur, 2002)

Keterangan : Golongan I adalah mutu air limbah yang paling keras atau ketat sedangkan golongan IV adalah baku mutu air limbah yang paling ringan.

Industri penyamakan kulit adalah salah satu industri yang juga mencemari lingkungan dimana beberapa dari parameter yang ada di dalam air limbah tidak sesuai dengan baku mutu yang sudah ditetapkan oleh pemerintah seperti yang sudah tercantum dalam Surat Keputusan Gubernur Jawa Timur, No. 45 Tahun 2002, seperti pada tabel berikut :

Tabel 2.2 Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Penyamakan Kulit

Volume Limbah Cair Maksimum Per Satuan Bahan Baku 50 M ³ /Ton Bahan Baku Kulit Kering Proses Lengkap 30 M ³ /Ton Bahan Baku Kulit Kering Sampai Proses Wet Blue 20 M ³ /Ton Bahan Baku Kulit Wet Blue Sampai Produk Jadi			
Parameter	Kadar maksimum (mg/l)		
	Proses Lengkap	Sampai Wet Blue	Bahan Baku Wet Blue
BOD ₅	100	100	75
COD	250	250	200
TSS	100	100	75
Cr (Chrom) Total	0	0,5	0,3
Minyak & Lemak	5	5	3
NH ₃ -N (ammonia total)	10	10	5
Sulfida (H ₂ S)	0,8	0,8	0,5
pH		6-9	

(Sumber : Keputusan Gubernur Jawa Timur)

2.3. Krom

Logam krom digunakan dalam industri penyamakan kulit sebagai zat penyamak. Industri penyamakan kulit yang menggunakan proses krom tanning menghasilkan limbah cair yang mengandung krom. Senyawa krom yang dihasilkan dari limbah penyamakan kulit adalah krom bervalensi tiga. Limbah

cair maupun lumpur yang mengandung krom trivalent ini dapat membahayakan lingkungan karena krom trivalent dapat berubah menjadi krom heksavalent pada kondisi basa yang merupakan limbah B3 yang dapat membahayakan bagi kesehatan.

Krom adalah kristal berwarna putih yang dapat larut dalam HCl encer (30 %) maupun pekat (70 %). Kata chromium berasal dari bahasa Yunani "Chroma" yang berarti warna. Chromium dilambangkan dengan "Cr" sebagai salah satu logam berat. Chromium memiliki ciri – ciri fisik sebagai berikut :

- ❖ Nomor atom : 24
- ❖ Berat atom : 51,996
- ❖ Golongan : VI B
- ❖ Kerapatan : 7,14
- ❖ Titik didih : 2200⁰C

Logam berat pertama kali ditemukan oleh Vauquelin pada tahun 1797. Logam krom murni tidak pernah ditemukan di alam, hanya dalam bentuk persenyawaan padat atau mineral dengan unsur – unsur yang lain. Krom paling banyak ditemukan dalam chromite (FeCr_2O_3). Chromium juga dapat berbentuk "alloy" yaitu persenyawaan padat satu atau lebih logam lain, misalnya dengan besi atau silikon. Secara kimia, logam krom dalam persenyawaan memiliki bilangan oksidasi +2, +3, dan +6. Logam ini tidak dapat teroksidasi oleh udara lembab dan bahkan pada proses pemanasan cairan, logam krom teroksidasi hanya dalam jumlah sedikit. Akan tetapi dalam udara yang mengandung CO_2 (karbondioksida) dalam konsentrasi tinggi, logam krom dapat mengalami peristiwa oksidasi dan membentuk Cr_2O_3 . Sedangkan dengan larutan HCl akan membentuk logam CrCl_2 (kromium klorida). Krom merupakan logam yang sangat mudah bereaksi dengan Nitrogen, Karbon Silika dan Boron.

Sesuai dengan tingkat valensinya, ion krom yang telah membentuk senyawa mempunyai sifat yang berbeda – beda sesuai dengan tingkat ionitasnya. Senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr^{3+} akan bersifat basa,

senyawa yang terbentuk dari ion Cr^{6+} akan bersifat asam (Palar Haryando, 1994).

2.3.1. Sifat dan Kegunaan

Ion chromium (II) atau khroma (Cr^{2+}) diturunkan dari chromium (I) yang merupakan larutan berwarna biru. Ion chromium kurang stabil karena merupakan zat pereaksi yang kuat, bahkan dapat menguraikan air perlahan – lahan dengan membentuk hidrogen. Oksigen dari atmosfer dengan mudah mengoksidasinya menjadi chromium (II). Ion chromium (III) bersifat stabil dan diturunkan dari dichromium trioksida atau cromium trioksida (Cr_2O_3), dalam larutan ion ini berwarna hijau.

Dalam khromat (CrO_4^{2-}) atau dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) bilangan oksidasi Cr adalah 6+, ion – ion ini diturunkan dari chromium trioksida (CrO_3). Ion khromat berwarna kuning, dikromat berwarna jingga. Kedua ion ini merupakan oksidator yang kuat (Vogel, 1979).

Cr sebagai mikronutrien dibutuhkan oleh manusia, sedikitnya 10 μg perhari. Cr (VI) merupakan bahan baku utama pada industri electroplating serta proses tanning pada industri penyamakan kulit serta bahan pewarna sintesis pada industri tekstil.

2.3.2. Khrom Sebagai Logam Berat

Sebagai logam berat krom termasuk logam yang mempunyai daya racun tinggi. Daya racun tersebut ditentukan oleh variasi ionnya. Krom sangat toksik dalam bentuk Cr (VI) daripada Cr (III). Terakumulasinya krom dalam tubuh dapat merusak organ – organ tubuh seperti hati, ginjal dan dapat menghambat kerja enzim dan bersifat karsinogenik, (Palar Haryando, 1994).

Ambang batas Cr dalam air limbah golongan satu adalah 0,05 mg/g. Menurut US Public Health Service, kehadiran ion krom pada batas ini dapat ditoleransi oleh manusia tanpa memberi efek bahaya

terhadap kesehatan, tetapi kita tahu bahwa krom merupakan bahan karsinogenik yang perlu diwaspadai oleh manusia.

2.4 Biological Oxygen Demand (BOD)

Nilai BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroba aerob untuk menguraikan zat organik dalam air limbah. Dengan demikian, semakin tinggi nilai BOD dari air limbah maka mencerminkan pencemaran dalam air limbah. Bakteri pengurai mempergunakan oksigen terlarut yang terdapat dalam air limbah untuk memenuhi kebutuhannya akan oksigen, sehingga nilai DO (*Disolved Oxygen*) dalam air akan terus berkurang. Oleh karena itu untuk memenuhi kebutuhan oksigen tersebut dilakukan proses aerasi.

2.5 Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.)

Kayu apu merupakan salah satu gulma air yang sering ditemukan di perairan air tawar. Kayu apu dalam taksonomi mempunyai klasifikasi sebagai berikut :

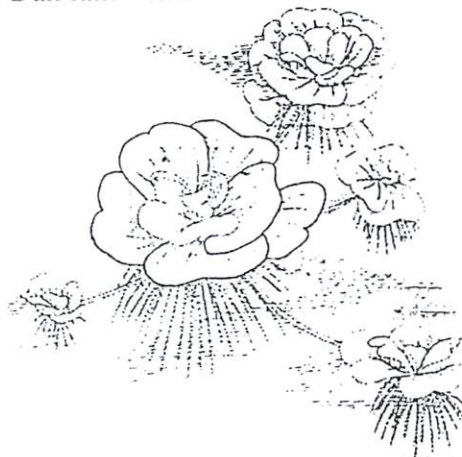
Divisi	: Monocotiledone
Kelas	: Aracidae
Ordo	: Araces
Famili	: Araceae
Genus	: Pistiodeae
Spesies	: Pistia Stratiotes L.

Pistia stratiotes L. di Indonesia dikenal dengan nama kayu apu (Jawa) dan kapu – kapu atau apu – apu (Indonesia) merupakan tumbuhan air yang umumnya tumbuh di daerah tropik. Perwakannya mirip sekali dengan kol atau kubis yang berukuran kecil, batang sangat pendek dengan daun kaku dan berurat, berwarna hijau terang. Tumbuhan ini berkembang biak dengan stolon yang memungkinkan baginya untuk hidup mendatar atau sedikit naik di atas permukaan air dengan permukaan bagian bawah yang berbulu halus. Tanaman ini berkembang biak dengan cepat sehingga dalam waktu singkat dapat

menutupi permukaan suatu perairan yang luas. Jika kandungan hara yang terdapat dalam air mencukupi, dalam waktu kurang lebih satu bulan tumbuhan ini dapat membentuk satu atau lebih anakan.

Sebagai tanaman air, dalam pertumbuhannya kayu apu tidak lepas dari faktor – faktor tertentu selain nutrisi dan cahaya matahari. Faktor – faktor tersebut antara lain :

- Suhu air
- PH air
- Pergerakan air
- Salinitas air
- Arus
- Dan lain – lain



Gambar 2.5 Tanaman Kayu Apu

2.5.1 Mekanisme Penyerapan Logam Oleh Tumbuhan

Proses penyerapan dan akumulasi logam oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan yang lain dan lokalisasi logam pada bagian tubuh tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut.

Telah diketahui, bahwa agar tumbuhan dapat menyerap logam maka logam harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (*rizosfer*).

Mekanisme penyerapan logam, yakni melalui pembentukan zat khelat yang disebut Fitosidorofor. Molekul fitosidorofor yang terbentuk akan mengikat (*mengkhelat*) logam dan membawanya ke dalam sel akar melalui peristiwa transport aktif. Menurut Niang (1999), air limbah yang mengandung logam akan bermuatan positif dan cara untuk mengikat logam tersebut adalah dengan memasukkan obyek yang bermuatan negatif. Akar tumbuhan bermuatan negatif dan berperan sebagai magnet untuk menarik unsur – unsur bermuatan positif. Bahkan akar yang sudah mati atau kering masih mengandung muatan negatif yang cukup besar untuk menarik ion – ion positif dari logam berat. Setelah logam dibawa masuk ke dalam sel akar, selanjutnya logam harus diangkut melalui jaringan pengangkut, yaitu xilem dan floem ke bagian tubuh yang lain. Untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan, logam diikat oleh molekul khelat. Selanjutnya logam ditempatkan pada jaringan tubuh yang lain. Untuk mencegah keracunan logam terhadap sel, tumbuhan mempunyai mekanisme detoksifikasi dengan menimbun logam pada bagian tubuh tertentu.

2.5.2 Penurunan Nilai BOD

Nilai BOD dari suatu air limbah biasanya digunakan untuk mengukur kebutuhan oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme aerob untuk menguraikan zat organik dalam air limbah. Pada dasarnya kayu apu tidak dapat menurunkan nilai BOD, akan tetapi penurunan nilai BOD dilakukan oleh mikroorganisme aerob dalam rizofir (Gersberg et al., 1986). Mikroba – mikroba ini akan dapat berfungsi apabila kebutuhan oksigen dalam air limbah sesuai dengan kebutuhannya. Pasokan oksigen diperoleh dari proses fotosintesis yang dilakukan oleh kayu apu.

2.5.3 Aerasi

Aerasi adalah suatu proses penginjeksian oksigen ke dalam media, oksigen dalam hal ini dibutuhkan oleh tumbuhan untuk menurunkan nilai BOD dalam air limbah. Pada tumbuhan, oksigen ditransfortasikan ke

jaringan melalui akar dan mengoksidasi substrat di sekelilingnya. Oksidasi substrat tersebut mendukung populasi mikroba aerobik dalam rizofe (Gersberg *et al.*, 1986). Mikroba – mikroba itu memodifikasi hara, ion logam dan senyawa organik. Dalam penelitian sebelumnya telah diketahui bahwa kayu apu mampu meningkatkan DO dan menurunkan BOD (Yuniasih, 2003). Penurunan nilai BOD pada air limbah diakibatkan oleh aktivitas mikroorganisme pemecah bahan organik yang ditunjang oleh oksigen sebagai produk dari proses fotosintesis, seperti telah diutarakan oleh Moenandir dan Irawan (1993). Dengan aerasi ini diharapkan jumlah oksigen terlarut dalam air limbah dapat meningkat sehingga mikroorganisme aerob dapat berfungsi dengan baik. Dalam hal ini penginjeksian oksigen dilakukan dengan menggunakan blower, dimana suplai oksigen ditentukan berdasarkan kondisi air limbah.

$$\text{Kg O}_2/\text{hari} = \frac{Q(S_0 - S)}{1000 f} - 1,42 P_x$$

keterangan :

- Q = debit limbah (m³ /hr)
- S₀ = BOD influent (mg/l)
- S = BOD effluent (mg/l)
- P_x = produksi lumpur (kg/h)
- f = BOD ultimate (mg/l)

2.5.4 Nutrisi

Pada hakekatnya setiap tumbuhan membutuhkan nutrisi untuk kelangsungan hidupnya, begitu pula dengan kayu apu dalam melangsungkan kehidupannya membutuhkan nutrisi. Nutrisi yang biasa dibutuhkan gulma air adalah nitrogen, akan tetapi pada kondisi tertentu ada berbagai nutrisi yang dibutuhkan sesuai dengan kondisi tubuh

tanaman tersebut. Semakin besar konsentrasi logam dalam tubuh tanaman dapat menyebabkan terbatasnya jumlah fosfor, kalium dan besi dalam tubuh tanaman (*Barber, 1974*). Hal inilah yang menyebabkan kematian akar yang akan berdampak pada kurang maksimalnya kinerja kayu apu. Fosfor bagi kayu apu berfungsi untuk merangsang pertumbuhan akar, khususnya akar benih dan akar muda (*Lingga P, 1999*).

$$\text{Kadar Pupuk} = \frac{\text{Jumlah } P}{\% \text{ kadar pupuk}} \times 100\%$$

Keterangan :

- P = berat tanaman (kg/ha)
- % = kadar pupuk

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan.

3.2. Variabel Penelitian

3.2.1. Variabel Terikat

- Konsentrasi krom
- Konsentrasi BOD

3.2.2. Variabel Bebas

Aerasi : 1.0,025 kg/hari

2.0,050 kg/hari

3.0,075 kg/hari

Nutrisi : 1. 0,5 gram fosfor

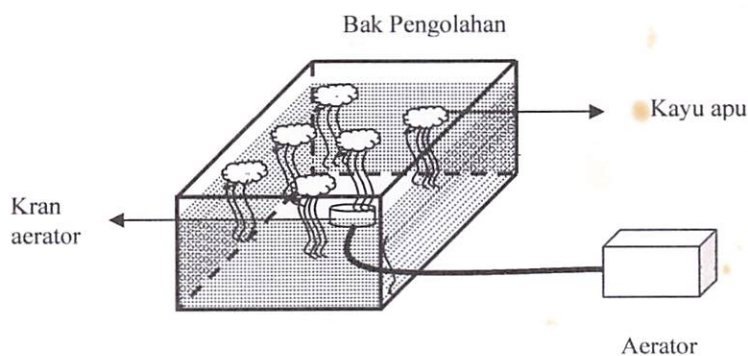
2. 1,0 gram fosfor

3. 1,5 gram fosfor

3.3. Model Reaktor

Dalam penelitian ini digunakan bak yang terbuat dari kaca, dimana pada bak yang kombinasinya membutuhkan aerasi disediakan blower (pompa oksigen).

Gambar alat dapat dilihat pada gambar berikut:



3.3 Gambar Alat

Keterangan :

Dimensi bak : P = 20 cm, L = 15 cm, H = 15 cm

Volume bak : 4 liter

Kerapatan kayu apu : 100 mg/cm²

3.4 Cara Kerja

3.4.1 Pengambilan Sampel

Sampel yang dipakai dalam penelitian ini diambil dari pabrik penyamakan kulit di daerah Kasin. Sampel yang digunakan diambil dari inlet pengolahan limbah (limbah sebelum diolah). Sampel yang telah diambil ditampung dalam wadah yang kedap udara agar tidak terjadi reaksi kimia yang dapat merubah konsentrasi dari air limbah. Sampling dilakukan satu jam sebelum penelitian dilakukan dengan harapan kondisi air limbah tidak mengalami perubahan.

3.4.2 Analisa Pendahuluan

Analisa pendahuluan ini merupakan suatu analisa mengenai kandungan BOD dan krom yang terdapat dalam air limbah. Analisa ini digunakan sebagai perbandingan dari analisa yang akan dilakukan setelah penelitian.

3.4.3 Pelaksanaan Percobaan

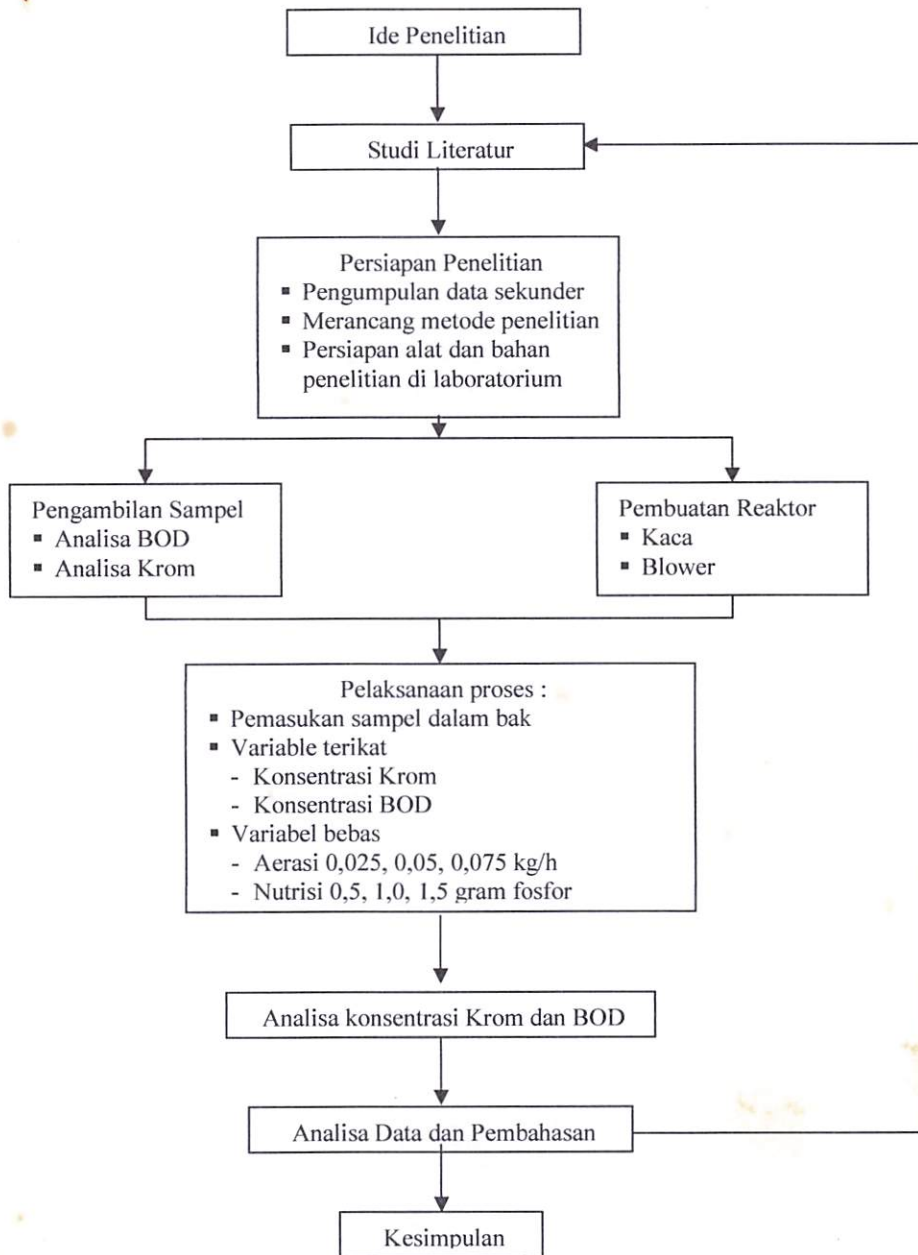
3.4.3.1 Tahap Persiapan

- a. Menyiapkan bahan dan alat yang akan dipakai.
- b. Menyiapkan kayu apu sesuai dengan kebutuhan.
- c. Menyiapkan nutrisi bagi kayu apu
- d. Menyiapkan pompa oksigen
- e. Air sampel (air limbah) dianalisis kadar krom dan BOD.
- f. Mengkondisikan setiap bak sesuai dengan rencana.

3.4.3.2 Tahap Penelitian

- a. Limbah yang sudah diketahui konsentrasinya dimasukkan ke dalam bak.
- b. Mengontrol pH air limbah, kemudian disesuaikan dengan pH habitat kayu apu.

3.6. Kerangka Penelitian



BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Prosentase Removal Krom

4.1.1. Analisa Deskriptif.

Untuk mengetahui kemampuan kayu apu dalam menurunkan konsentrasi krom dilakukan dengan menghitung data dan membandingkan konsentrasi awal krom dengan konsentrasi akhir krom setelah dianalisa, sehingga dapat dihitung prosentase removal pada setiap kombinasi dengan menggunakan rumus :

$$\% \text{Removal} = \frac{\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}}{\text{konsentrasi awal}} \times 100\%$$

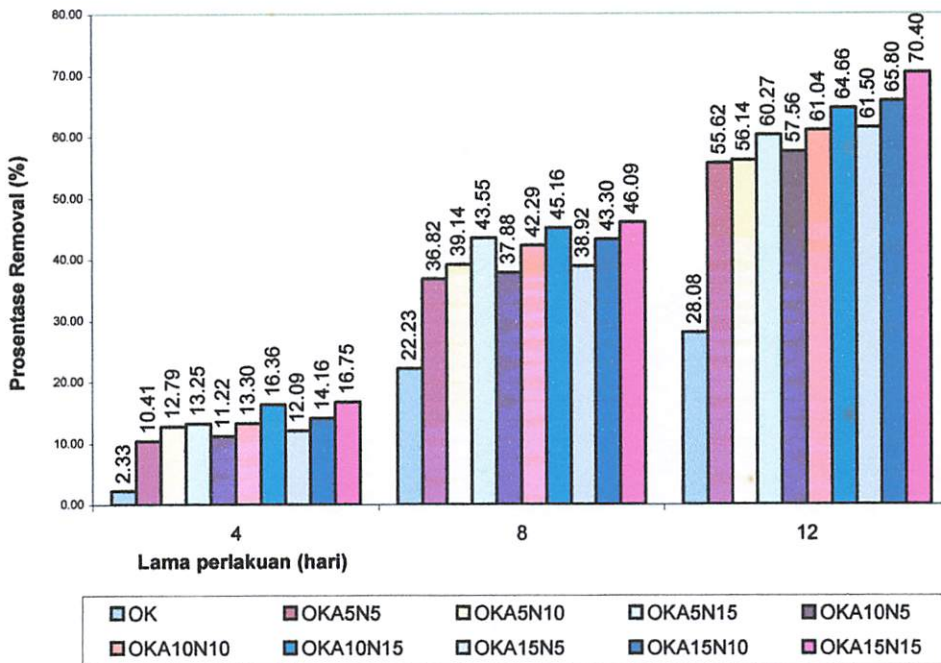
Dari hasil analisa terhadap tingkat konsentrasi akhir krom sampel air limbah penyamakan kulit dengan variasi perlakuan jumlah nutrisi (0,5 gram, 1,0 gram, 1,5 gram) dan variasi aerasi (0,025 kg/h, 0,05 kg/h, 0,075 kg) menunjukkan kayu apu mempunyai kemampuan untuk menurunkan kadar krom dalam sampel uji. Hasil analisa variasi yang dilakukan setiap fase percobaan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.1 Prosentase Removal Krom Kumulatif

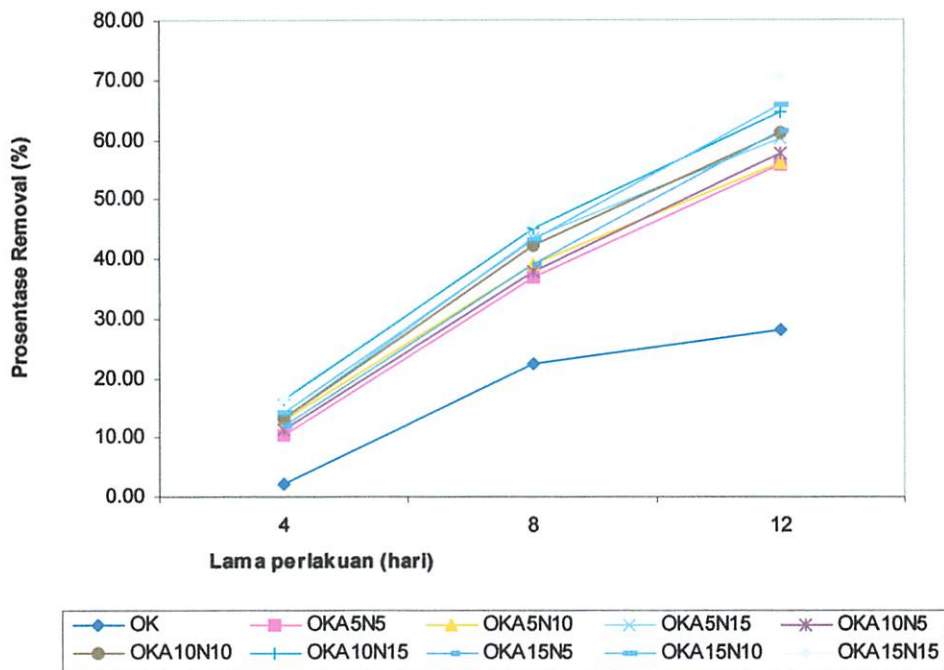
perlakuan	krom awal (mg/l)	analisa 4 hari		analisa 8 hari		analisa 12 hari	
		krom akhir (mg/l)	% removal	krom akhir (mg/l)	% removal	krom akhir (mg/l)	% removal
OK	592,27	578,49	2,33	460,61	22,23	425,97	28,08
OK A5 N5	592,27	530,62	10,41	374,18	36,82	262,87	55,62
OK A5 N10	592,27	516,54	12,79	360,45	39,14	259,76	56,14
OK A5 N15	592,27	513,81	13,25	334,32	43,55	235,32	60,27
OK A10 N5	592,27	525,80	11,22	367,91	37,88	251,39	57,56
OK A10 N10	592,27	513,52	13,30	341,78	42,29	230,74	61,04
OK A10 N15	592,27	495,40	16,36	324,82	45,16	209,30	64,66
OK A15 N5	592,27	520,69	12,09	361,76	38,92	228,03	61,50
OK A15 N10	592,27	508,40	14,16	335,84	43,30	202,54	65,80
OK A15 N15	592,27	493,04	16,75	319,30	46,09	175,30	70,40

Prosentase (%) removal krom terkecil didapatkan sebesar 28,08 % pada kombinasi OK (tanpa aerasi dan nutrisi). Sedangkan prosentase removal terbesar didapatkan pada kombinasi OKA15N15 (kayu apu dengan aerasi 0,025 kg/h dan

nutrisi 1,5 gr) sebesar 70,04 %. Dari tabel di atas dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.1.a Grafik Prosentase Removal Krom Komulatif



Gambar 4.1.b Grafik Prosentase Removal Krom Komulatif

4.1.2. Analisa Anova

Uji Anova dilakukan untuk menguji apakah semua kelompok perlakuan menghasilkan nilai prosentase removal krom dengan nilai yang berbeda secara signifikan (Santoso, 2001). Uji anova yang dilakukan disini adalah dengan *Univariate Analysis Variance* (menggunakan lebih dari satu faktor). Adapun hasil uji anova untuk waktu pengamatan (4 hari, 8 hari, 12 hari) ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel 4.1.2.1.a Hasil Uji Anova Variasi Perlakuan Terhadap Prosentase Removal Krom (Cr) Untuk t = 4 Hari

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: prosentase removal

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	438,322 ^a	9	48,702	82,889	,000
Intercept	4512,545	1	4512,545	7680,115	,000
UJI	438,322	9	48,702	82,889	,000
Error	11,751	20	,588		
Total	4962,618	30			
Corrected Total	450,073	29			

a. R Squared = ,974 (Adjusted R Squared = ,962)

Hipotesis :

H_0 = Keseluruhan kombinasi perlakuan menghasilkan nilai % Removal tidak berbeda secara signifikan.

H_1 = Keseluruhan kombinasi perlakuan menghasilkan nilai % Removal yang berbeda secara signifikan.

Pengambilan keputusan :

Jika Probabilitas > 0.05 , maka H_0 diterima

Jika Probabilitas < 0.05 , maka H_1 diterima.

Keputusan :

Terlihat pada tabel bahwa nilai F_{hitung} adalah 82.88 dengan nilai probabilitas 0.000. Karena probabilitas < 0.05 , maka H_1 diterima atau Keseluruhan kombinasi perlakuan menghasilkan nilai % Removal berbeda secara signifikan.

Untuk membuktikan hal tersebut maka dilakukan uji perbedaan nilai % removal dari keseluruhan kelompok perlakuan. Analisa yang dilakukan untuk pembuktian ini adalah analisa *Post Hoc Test* dalam *Homogeneous Subset* (Santoso, 2001). Hasil uji tersebut ditampilkan pada tabel 4.1.2.1.b

Dari hasil uji tersebut dapat dilihat nilai % removal krom yang dihasilkan pada setiap kelompok perlakuan yang tidak berbeda secara nyata. Tidak berbedanya pengaruh masing-masing kelompok perlakuan tersebut dapat dilihat dengan terdapatnya nilai % removal pada *subset* yang sama pada sebagian variasi, kecuali variasi OK.

Tabel 4.1.2.1.b Hasil uji Post Hoc Test dalam Homogeneous Subset

prosentase removal

Duncan ^{a,b}

UJI	N	Subset					
		1	2	3	4	5	6
ok	3	2,3266					
oka5n5	3		10,4091				
oka10n5	3		11,2235	11,2235			
oka15n5	3			12,0863	12,0863		
oka5n10	3				12,7864	12,7864	
oka5n15	3				13,2473	13,2473	
oka10n10	3				13,2957	13,2957	
oka15n10	3					14,1608	
oka10n15	3						16,3552
oka15n15	3						16,7542
Sig.		1,000	,208	,183	,090	,056	,531

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,588.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

Tabel 4.1.2.2.a Hasil Uji Anova Variasi Perlakuan Terhadap Prosentase Removal Krom (Cr) Untuk t = 8 Hari

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: prosentase removal

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1267,583 ^a	9	140,843	224,901	,000
Intercept	46898,252	1	46898,252	74888,290	,000
UJI	1267,583	9	140,843	224,901	,000
Error	12,525	20	,626		
Total	48178,360	30			
Corrected Total	1280,108	29			

a. R Squared = ,990 (Adjusted R Squared = ,986)

Hipotesis :

H_0 = Keseluruhan kombinasi perlakuan menghasilkan nilai % Removal tidak berbeda secara signifikan.

H_1 = Keseluruhan kombinasi perlakuan menghasilkan nilai % Removal yang berbeda secara signifikan.

Pengambilan keputusan :

Jika Probabilitas > 0.05 , maka H_0 diterima

Jika Probabilitas < 0.05 , maka H_1 diterima.

Keputusan :

Terlihat pada tabel bahwa nilai F_{hitung} adalah 224.90 dengan nilai probabilitas 0.000. Karena probabilitas < 0.05 , maka H_1 diterima atau Keseluruhan kombinasi perlakuan menghasilkan nilai % Removal berbeda secara signifikan.

Untuk membuktikan hal tersebut maka dilakukan uji perbedaan nilai % removal dari keseluruhan kelompok perlakuan. Analisa yang dilakukan untuk pembuktian ini adalah analisa *Post Hoc Test* dalam *Homogeneous Subset* (Santoso, 2001). Hasil uji tersebut ditampilkan pada tabel 4.1.2.2.b.

Dari hasil uji tersebut dapat dilihat nilai % removal krom yang dihasilkan pada setiap kelompok perlakuan yang diberikan tidak berbeda secara nyata. Tidak berbedanya pengaruh masing-masing kelompok perlakuan tersebut dapat dilihat dengan terdapatnya nilai % removal pada *subset* yang sama pada sebagian variasi, kecuali variasi OK.

Tabel 4.1.2.2.b Hasil uji Post Hoc Test dalam Homogeneous Subset

prosentase removal

Duncan ^{a,b}

UJI	N	Subset				
		1	2	3	4	5
ok	3	22,2303				
oka5n5	3		36,8233			
oka10n5	3		37,8808	37,8808		
oka15n5	3			38,9192		
oka5n10	3			39,1415		
oka10n10	3				42,2926	
oka15n10	3				43,2967	
oka5n15	3				43,5533	
oka10n15	3					45,1568
oka15n15	3					46,0882
Sig.		1,000	,117	,078	,078	,165

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,626.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

Tabel 4.1.2.3.a Hasil Uji Anova Variasi Perlakuan Terhadap Prosentase Removal Krom (Cr) Untuk t = 12 Hari

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: PROSENTASE REMOVAL

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3570,773 ^a	9	396,753	1106,430	,000
Intercept	101290,940	1	101290,940	282471,5	,000
UJI	3570,773	9	396,753	1106,430	,000
Error	7,172	20	,359		
Total	104868,885	30			
Corrected Total	3577,944	29			

a. R Squared = ,998 (Adjusted R Squared = ,997)

Hipotesis :

H₀ = Keseluruhan kombinasi perlakuan menghasilkan nilai % Removal tidak berbeda secara signifikan.

H₁ = Keseluruhan kombinasi perlakuan menghasilkan nilai % Removal yang berbeda secara signifikan.

Pengambilan keputusan :

Jika Probabilitas > 0.05, maka H₀ diterima

Jika Probabilitas < 0.05, maka H₁ diterima.

Keputusan :

Terlihat pada tabel bahwa nilai F_{hitung} adalah 1006.43 dengan nilai probabilitas 0.000. Karena probabilitas < 0.05 , maka H_1 diterima atau Keseluruhan kombinasi perlakuan menghasilkan nilai % Removal berbeda secara signifikan.

Untuk membuktikan hal tersebut maka dilakukan uji perbedaan nilai % removal dari keseluruhan kelompok perlakuan. Analisa yang dilakukan untuk pembuktian ini adalah analisa *Post Hoc Test* dalam *Homogeneous Subset* (Santoso, 2001). Hasil uji tersebut ditampilkan pada tabel 4.1.2.3.b.

Dari hasil uji tersebut dapat dilihat nilai % removal krom yang dihasilkan pada setiap kelompok perlakuan yang diberikan berbeda secara nyata. Berbedanya pengaruh masing-masing kelompok perlakuan tersebut dapat dilihat dengan terdapatnya nilai % removal yang sebagian besar terdapat pada *subset* yang berbeda.

Tabel 4.1.2.3.b Hasil uji Post Hoc Test dalam Homogeneous Subset

PROSENTASE REMOVAL

Duncan^a^b

UJI	N	Subset							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ok	3	28,0778							
oka5n5	3		55,6165						
oka5n10	3		56,1416						
oka10n5	3			57,5554					
oka5n15	3				60,2681				
oka10n10	3				61,0409	61,0409			
oka15n5	3					61,4984			
oka10n15	3						64,6608		
oka15n10	3							65,8028	
oka15n15	3								70,4026
Sig.		1,000	,296	1,000	,130	,361	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,359.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

4.1.3 Analisa Korelasi

Untuk mengetahui bukti empiris hubungan antara ciri variabel yang diamati, maka dilakukan analisa dengan menggunakan analisa korelasi. Data yang digunakan dalam analisa korelasi ini adalah nilai prosentase (%) removal krom. Hasil dari analisa tersebut ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel 4.1.3.a Korelasi Antara % Removal Krom Dengan Kelompok Variasi Aerasi Dan Nutrisi Dengan Lama Perlakuan 4 Hari

Correlations

		% Removal	Variasi Aerasi	Variasi Nutrisi
% Removal	Pearson Correlation	1.000	.706*	.868**
	Sig. (2-tailed)	.	.023	.001
	N	10	10	10
Kombinasi I	Pearson Correlation	.706*	1.000	.375
	Sig. (2-tailed)	.023	.	.286
	N	10	10	10
Kombinasi II	Pearson Correlation	.868**	.375	1.000
	Sig. (2-tailed)	.001	.286	.
	N	10	10	10

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tabel 4.1.3.b Korelasi Antara % Removal Dengan Kelompok Variasi Aerasi Dan Nutrisi Dengan Lama Perlakuan 8 Hari

Correlations

		prosentase removal	Variasi Aerasi	Variasi Nutrisi
prosentase removal	Pearson Correlation	1.000	.682*	.876**
	Sig. (2-tailed)	.	.030	.001
	N	10	10	10
aerasi	Pearson Correlation	.682*	1.000	.375
	Sig. (2-tailed)	.030	.	.286
	N	10	10	10
nutrisi	Pearson Correlation	.876**	.375	1.000
	Sig. (2-tailed)	.001	.286	.
	N	10	10	10

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tabel 4.1.3.c Korelasi Antara % Removal Krom Dengan Kelompok Variasi Aerasi Dan Nutrisi Dengan Lama Perlakuan 12 Hari

Correlations

		prosentase removal	Variasi Aerasi	Variasi Nutrisi
prosentase removal	Pearson Correlation	1.000	.802**	.755*
	Sig. (2-tailed)	.	.005	.012
	N	10	10	10
aerasi	Pearson Correlation	.802**	1.000	.375
	Sig. (2-tailed)	.005	.	.286
	N	10	10	10
nutrisi	Pearson Correlation	.755*	.375	1.000
	Sig. (2-tailed)	.012	.286	.
	N	10	10	10

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Berdasarkan tabel 4.1.3.a.b.c. hasil analisa statistik uji korelasi antara % removal krom dengan variasi aerasi dan nutrisi yang diuji coba pada sampel limbah menunjukkan hubungan antara variabel tersebut yang dihitung dengan angka koefisien korelasi adalah :

Tabel 4.1.3.a. (untuk t = 4 hari)

- Peningkatan prosentase removal (penurunan kadar krom) akibat pemberian aerasi menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0.706. Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang kuat (di atas 0.5) (*Yarnest, 2003*). Tanda “+” menunjukkan arah yang sama, dimana semakin besar aerasi yang diberikan akan diikuti dengan peningkatan removal krom atau semakin besar nilai penurunan konsentrasi krom. Tingkat signifikansi prosentase removal krom dengan pemberian aerasi ditunjukkan dengan nilai probabilitas 0.023 yang lebih kecil dari 0.05, maka korelasinya signifikan. Berdasarkan tanda * maka dapat disimpulkan bahwa antara aerasi dan prosentase removal krom berkorelasi secara signifikan, (*Yarnest, 2003*).
- Peningkatan prosentase removal (penurunan kadar krom) dengan pemberian nutrisi menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0.868. Hal ini menunjukkan hubungan yang sangat kuat (di atas 0.5) (*Yarnest, 2003*). Tanda “+” menunjukkan arah yang sama, dimana semakin besar nutrisi yang diberikan akan diikuti dengan peningkatan % removal krom. Tingkat signifikansi

presentase removal krom dengan pemberian nutrisi ditunjukkan dengan nilai probabilitas 0.001 dimana nilai tersebut lebih kecil dari 0.05, maka korelasinya signifikan. Berdasarkan tanda ** maka dapat disimpulkan bahwa antara nutrisi dan presentase removal krom berkorelasi secara signifikan, (*Yarnest, 2003*).

Tabel 4.1.3.b. (untuk t = 8 hari)

- Peningkatan presentase removal (penurunan kadar krom) akibat pemberian aerasi menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0.682. Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang kuat (di atas 0.5) (*Yarnest, 2003*). Tanda “+” menunjukkan arah yang sama, dimana semakin besar aerasi yang diberikan akan diikuti dengan peningkatan removal krom atau semakin besar nilai penurunan konsentrasi krom. Tingkat signifikansi presentase removal krom dengan pemberian aerasi ditunjukkan dengan nilai probabilitas 0.03 yang lebih kecil dari 0.05, maka korelasinya signifikan. Berdasarkan tanda * maka dapat disimpulkan bahwa antara aerasi dan presentase removal krom berkorelasi secara signifikan, (*Yarnest, 2003*).
- Peningkatan presentase removal (penurunan kadar krom) dengan pemberian nutrisi menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0.876. Hal ini menunjukkan hubungan yang sangat kuat (di atas 0.5) (*Yarnest, 2003*). Tanda “+” menunjukkan arah yang sama, dimana semakin besar nutrisi yang diberikan akan diikuti dengan peningkatan % removal krom. Tingkat signifikan presentase removal krom dengan pemberian nutrisi ditunjukkan dengan nilai probabilitas 0.001 dimana nilai tersebut lebih kecil dari 0.05, maka korelasinya signifikan. Berdasarkan tanda ** maka dapat disimpulkan bahwa antara nutrisi dan presentase removal krom berkorelasi secara signifikan, (*Yarnest, 2003*).

Tabel 4.1.3.c. (untuk t = 12 hari)

- Peningkatan presentase removal (penurunan kadar krom) akibat pemberian aerasi menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0.802. Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat (di atas 0.5) (*Yarnest, 2003*). Tanda “+” menunjukkan arah yang sama, dimana semakin besar aerasi yang diberikan akan diikuti dengan peningkatan removal krom atau semakin besar nilai

penurunan konsentrasi krom. Tingkat signifikansi prosentase removal dengan aerasi ditunjukkan dengan nilai probabilitas 0.005 yang lebih kecil dari 0.05, maka korelasinya signifikan. Berdasarkan tanda ** maka dapat disimpulkan bahwa antara aerasi dan prosentase removal krom berkorelasi secara signifikan, (*Yarnest, 2003*).

- Peningkatan prosentase removal (penurunan kadar krom) dengan pemberian nutrisi menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0.755. Hal ini menunjukkan hubungan yang kuat (di atas 0.5) (*Yarnest, 2003*). Tanda “+” menunjukkan arah yang sama, dimana semakin besar nutrisi yang diberikan akan diikuti dengan peningkatan % removal krom. Tingkat signifikansi prosentase removal dengan pemberian nutrisi ditunjukkan dengan nilai probabilitas 0.012 dimana nilai tersebut lebih kecil dari 0.05, maka korelasinya signifikan. Berdasarkan tanda * maka dapat disimpulkan bahwa antara nutrisi dan prosentase removal berkorelasi secara signifikan, (*Yarnest, 2003*).

4.1.4. Analisa Regresi

Untuk mengetahui bukti empiris keeratan hubungan antar variabel maka kita analisa data dengan menggunakan analisa regresi. Data yang digunakan dalam analisa ini adalah data prosentase removal krom. Hasil dari analisa tersebut ditampilkan pada tabel berikut :

**Tabel 4.1.4.a Regresi Berdasarkan Lama Perlakuan 4 Hari
Nilai Adjusted Square**

Model Summary ^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.960 ^a	.922	.900	1.2766

a. Predictors: (Constant), Perlakuan Nutrisi, Perlakuan Aerasi

b. Lama Perlakuan = 4 hari

ANOVA ^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	134.652	2	67.326	41.310	.000 ^a
	Residual	11.408	7	1.630		
	Total	146.060	9			

a. Predictors: (Constant), Kombinasi II, Kombinasi I

b. Dependent Variable: % Removal

Coefficients ^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	4.230	.981		4.310	.004
	Perlakuan Aerasi	1.725	.444	.442	3.881	.006
	Perlakuan Nutrisi	2.740	.444	.702	6.164	.000

a. Dependent Variable: Prosentase Removal

b. Lama Perlakuan = 4 hari

**Tabel 4.1.4.b Regresi Berdasarkan Lama Perlakuan 8 Hari
Nilai Adjusted Square**

Model Summary ^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.955 ^a	.912	.887	2.2987

a. Predictors: (Constant), Perlakuan Nutrisi, Perlakuan Aerasi

b. Lama Perlakuan = 8 hari

ANOVA ^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	385.614	2	192.807	36.489	.000 ^a
	Residual	36.988	7	5.284		
	Total	422.602	9			

a. Predictors: (Constant), nutrisi, aerasi

b. Dependent Variable: prosentase removal

Coefficients ^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	26.009	1.787		14.719	.000
	Perlakuan Aerasi	2.726	.800	.411	3.407	.011
	Perlakuan Nutrisi	4.790	.800	.722	5.985	.001

a. Dependent Variable: Prosentase Removal

b. Lama Perlakuan = 8 hari

Tabel 4.1.4.c Regresi Berdasarkan Lama Perlakuan 12 Hari
Nilai Adjusted Square

Model Summary ^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.940 ^a	.883	.850	4.4518

a. Predictors: (Constant), Perlakuan Nutrisi, Perlakuan Aerasi

b. Lama Perlakuan = 12 hari

ANOVA ^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1051.277	2	525.639	26.522	.001 ^a
	Residual	138.732	7	19.819		
	Total	1190.010	9			

a. Predictors: (Constant), nutrisi, aerasi

b. Dependent Variable: prosentase removal

Coefficients ^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	35.412	3.422		10.348	.000
	Perlakuan Aerasi	6.722	1.550	.604	4.337	.003
	Perlakuan Nutrisi	5.886	1.550	.529	3.797	.007

a. Dependent Variable: Prosentase Removal

b. Lama Perlakuan = 12 hari

Dari tabel di atas dapat di jelaskan sebagai berikut:

1. Persamaan Regresi

a. Pada Analisa 4 hari (tabel 4.1.4.a.)

Persamaan regresi untuk % removal krom oleh kayu apu dengan kombinasi pemberian aerasi, nutrisi dengan lama perlakuan 4 hari didapatkan:

$$Y = 4.230 + 1.725 x_1 + 2.740 x_2$$

Dari persamaan regresi di atas maka, jika kita memberikan aerasi sebesar 1 kg/h, maka prosentase removal akan meningkat sebesar 1.725%. Jika kita menambahkan nutrisi sebesar 1 gr, maka prosentase removal krom akan meningkat sebesar 2.740%

Dari analisa regresi di atas didapatkan nilai R sebesar 0.960. Nilai tersebut > 0.5 yang menunjukkan hubungan yang sangat kuat (mendekati 1) antara aerasi dan nutrisi dengan prosentase removal (*Yarnest, 2003*).

b. Pada Analisa 8 Hari (tabel 4.1.4.b)

Persamaan regresi untuk % removal krom oleh kayu apu dengan kombinasi pemberian aerasi dan nutrisi dengan lama perlakuan 8 hari didapatkan:

$$Y = 26.009 + 2.726 \cdot x_1 + 4.790 \cdot x_2$$

Dari persamaan regresi di atas maka, jika kita memberikan aerasi sebesar 1 kg/h, maka prosentase removal akan meningkat sebesar 2.726%. Jika kita menambahkan nutrisi sebesar 1 gr, maka prosentase removal krom akan meningkat sebesar 4.790%.

Dari analisa regresi di atas didapatkan nilai R sebesar 0.955. Nilai tersebut > 0.5 yang menunjukkan hubungan yang sangat kuat (mendekati 1) antara aerasi dan nutrisi dengan prosentase removal (*Yarnest, 2003*).

c. Pada Analisa 12 Hari (tabel 4.1.4.c.)

Persamaan regresi untuk % removal krom oleh kayu apu dengan kombinasi pemberian aerasi dan nutrisi dengan lama perlakuan 12 hari didapatkan:

$$Y = 35.412 + 6.722 \cdot x_1 + 5.886 \cdot x_2$$

Dari persamaan di atas maka, jika kita memberikan aerasi sebesar 1 kg/h, maka prosentase removal akan meningkat sebesar 6.722%. Jika kita menambahkan nutrisi sebesar 1 gr, maka prosentase removal krom akan meningkat sebesar 5.886%.

Dari analisa regresi di atas didapatkan nilai R sebesar 0.940 nilai tersebut > 0.5 yang menunjukkan hubungan yang sangat kuat (mendekati 1) antara aerasi dan nutrisi dengan prosentase removal (Yarnest, 2003).

Ket :

Dimana ; Y = % Removal Krom, X_1 = Pemberian aerasi, X_2 = Pemberian nutrisi

2. Uji t dilakukan untuk menguji signifikansi konstanta dan variabel independen.

Hipotesis :

- H_0 : koefisien regresi tidak signifikan
- H_1 : koefisien regresi signifikan

Pengambilan Keputusan :

- Jika t hitung < t tabel, maka H_0 diterima
- Jika t hitung > t tabel, maka H_1 diterima

Keputusan :

- a. Pada Analisa 4 Hari (tabel 4.1.4.a)

1. Berdasarkan nilai t

- Variabel aerasi memiliki t hitung = 3,881 sedangkan t tabel dengan Df (derajat kebebasan) = jumlah data - 2 atau $10 - 2 = 8$ Tingkat signifikansi (a) = 5%. Dari tabel didapat nilai t = 2,306.
t hitung (3,881) > t tabel (2,306), maka H_1 diterima atau koefisien regresi signifikan.
- Variabel nutrisi memiliki t hitung = 6,164 sedangkan t tabel dengan Df (derajat kebebasan) = jumlah data - 2 atau $10 - 2 = 8$. Tingkat signifikansi (a) = 1%. Dari tabel didapat nilai t = 3,355.
t hitung (6,164) > t tabel (3,355), maka H_1 diterima atau koefisien regresi signifikan.

2. Berdasarkan probabilitas

Jika probabilitas > 0,05 maka H_0 diterima

Jika probabilitas < 0,05 maka H_1 diterima

Keputusan :

Dari kolom signifikan, untuk variabel aerasi adalah 0,006 dan untuk variabel nutrisi adalah 0,000 atau probabilitas $< 0,05$. sehingga H_1 diterima atau koefisien regresi variabel aerasi dan nutrisi benar – benar berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan prosentase removal

b. Pada Analisa 8 Hari (tabel 4.1.4.b)

1. Berdasarkan nilai t

- Variabel aerasi memiliki t hitung = 3,407 sedangkan t tabel dengan Df (derajat kebebasan) = jumlah data – 2 atau $10 - 2 = 8$. Tingkat signifikansi (a) = 5%. Dari tabel didapat nilai t = 2,306.
t hitung (3,407) > t tabel (2,306), maka H_1 diterima atau koefisien regresi signifikan.
- Variabel nutrisi memiliki t hitung = 5,985 sedangkan t tabel dengan Df (derajat kebebasan) = jumlah data – 2 atau $10 - 2 = 8$. Tingkat signifikansi (a) = 1%. Dari tabel didapat nilai t = 3,355.
t hitung (5,985) > t tabel (3,355), maka H_1 diterima atau koefisien regresi signifikan.

2. Berdasarkan probabilitas

Jika probabilitas $> 0,05$ maka H_0 diterima

Jika probabilitas $< 0,05$ maka H_1 diterima

Keputusan :

Dari kolom signifikan, untuk variabel aerasi adalah 0,011 dan untuk variabel nutrisi adalah 0,001 atau probabilitas $< 0,05$. sehingga H_1 diterima atau koefisien regresi variabel aerasi dan nutrisi benar – benar berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan prosentase removal.

c. Pada Analisa 12 Hari (tabel 4.1.4.c)

1. Berdasarkan nilai t

- Variabel aerasi memiliki t hitung = 4,337 sedangkan t tabel dengan Df (derajat kebebasan) = jumlah data – 2 atau $10 - 2 = 8$. Tingkat signifikansi (a) = 5%. Dari tabel didapat nilai t = 2,306.

t hitung (4,337) > t tabel (2,306), maka H_1 diterima atau koefisien regresi signifikan.

- Variabel nutrisi memiliki t hitung = 3,797 sedangkan t tabel dengan Df (derajat kebebasan) = jumlah data – 2 atau $10 - 2 = 8$. Tingkat signifikansi (α) = 1%. Dari tabel didapat nilai $t = 3,355$.

t hitung (3,797) > t tabel (3,355), maka H_1 diterima atau koefisien regresi signifikan.

2. Berdasarkan probabilitas

Jika probabilitas > 0,05 maka H_0 diterima

Jika probabilitas < 0,05 maka H_1 diterima

Keputusan :

Dari kolom signifikan, untuk variabel aerasi adalah 0,003 dan untuk variabel nutrisi adalah 0,007 atau probabilitas < 0,05. sehingga H_1 diterima atau koefisien regresi variabel aerasi dan nutrisi benar – benar berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan prosentase removal krom.

4.2. Nilai BOD (*Biological Oxygen Demand*)

4.2.1 Analisa Deskriptif

Penurunan nilai BOD sampel uji dapat dilihat dari perbandingan nilai BOD awal dengan nilai BOD akhir yang didapatkan dari hasil analisa yang dilakukan pada hari ke 4, 8 dan 12.

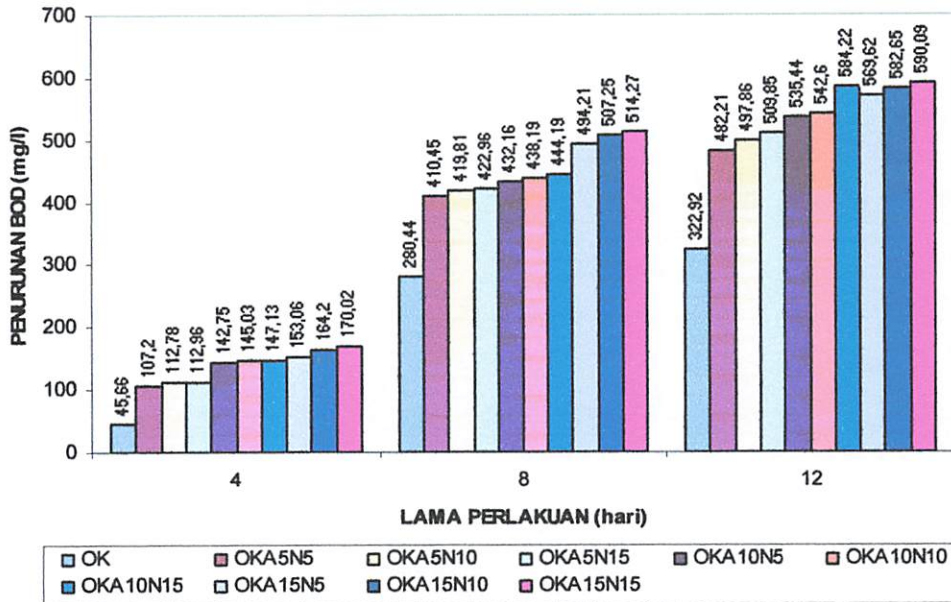
Dari hasil analisa, kayu apu yang dikombinasikan dengan pemberian nutrisi (0.5 g, 1.0 g, 1.5 g), aerasi (0.025 kg/h, 0.05 kg/h, 0.075 kg/h) mempunyai pengaruh terhadap kemampuan kayu apu untuk menurunkan nilai BOD dalam sampel uji. Hasil analisa variasi yang dilakukan setiap fase percobaan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.2 Penurunan Nilai BOD Kumulatif

perlakuan	BOD awal (mg/l)	analisa 4 hari		analisa 8 hari		analisa 12 hari	
		BOD akhir (mg/l)	penurunan (mg/l)	BOD akhir (mg/l)	penurunan (mg/l)	BOD akhir (mg/l)	penurunan (mg/l)
OK	760,97	715,31	45,66	480,53	280,44	438,03	322,94
OK A5 N5	760,97	653,77	107,20	350,52	410,45	278,76	482,21
OK A5 N10	760,97	648,19	112,78	341,16	419,81	263,11	497,86
OK A5 N15	760,97	648,01	112,96	338,01	422,96	251,12	509,85
OK A10 N5	760,97	618,22	142,75	328,81	432,16	225,53	535,44
OK A10 N10	760,97	615,94	145,03	322,78	438,19	218,37	542,60
OK A10 N15	760,97	613,84	147,13	316,78	444,19	212,75	548,22
OK A15 N5	760,97	607,91	153,06	266,76	494,21	191,35	569,62
OK A15 N10	760,97	569,77	164,20	253,72	507,25	178,32	582,65
OK A15 N15	760,97	590,95	170,02	246,70	514,27	170,88	590,09

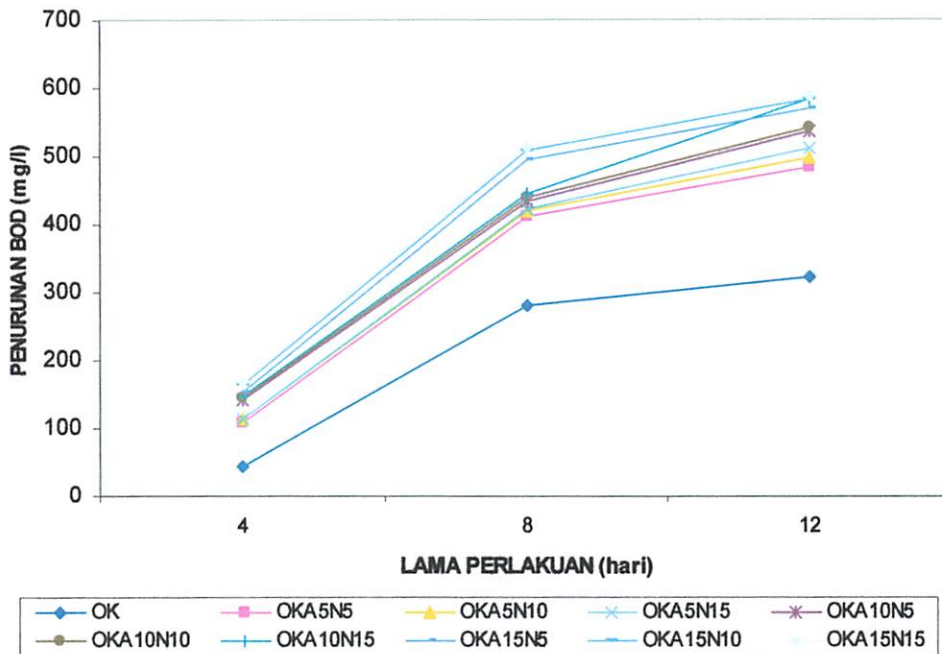
Dari semua kombinasi yang digunakan dalam penelitian ini terlihat bahwa penurunan nilai BOD terkecil didapatkan pada kombinasi OK (kayu apu tanpa aerasi dan nutrisi) dengan nilai penurunan BOD sebesar 322,94 mg/l. Sedangkan penurunan nilai BOD terbesar didapatkan pada kombinasi OKA15N15 (kayu apu dengan aerasi 0,075 kg/h dan nutrisi 1,5 gr) dengan penurunan nilai BOD 590,09 mg/l. Dari tabel penurunan nilai BOD tersebut di atas dapat ditampilkan dalam gambar sebagai berikut berikut :

PENURUNAN NILAI BOD KOMULATIF

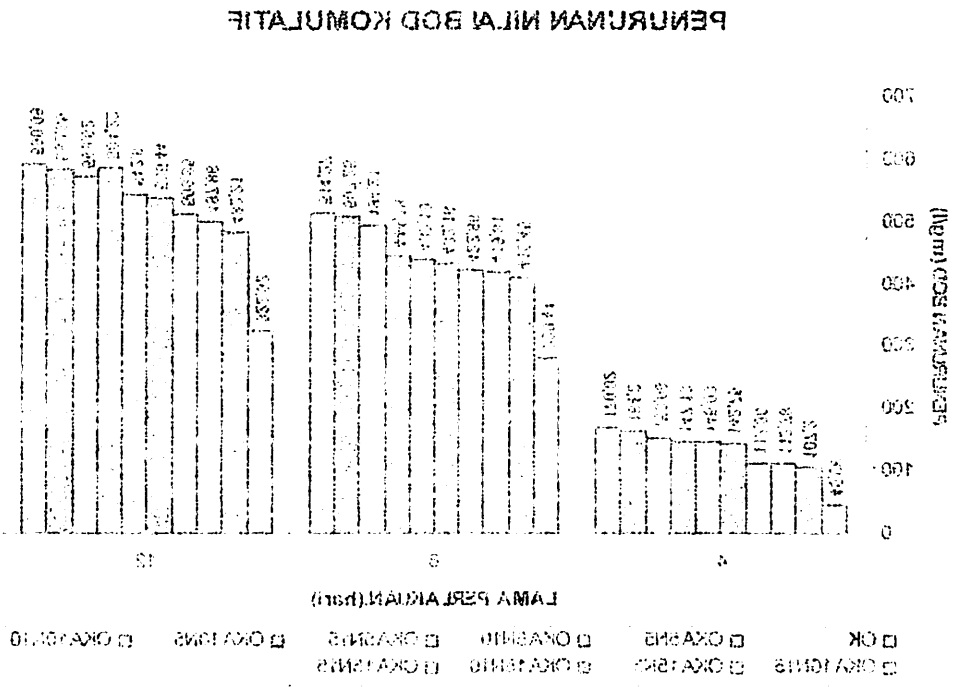


Gambar 4.2.a Grafik Penurunan Nilai BOD Kumulatif

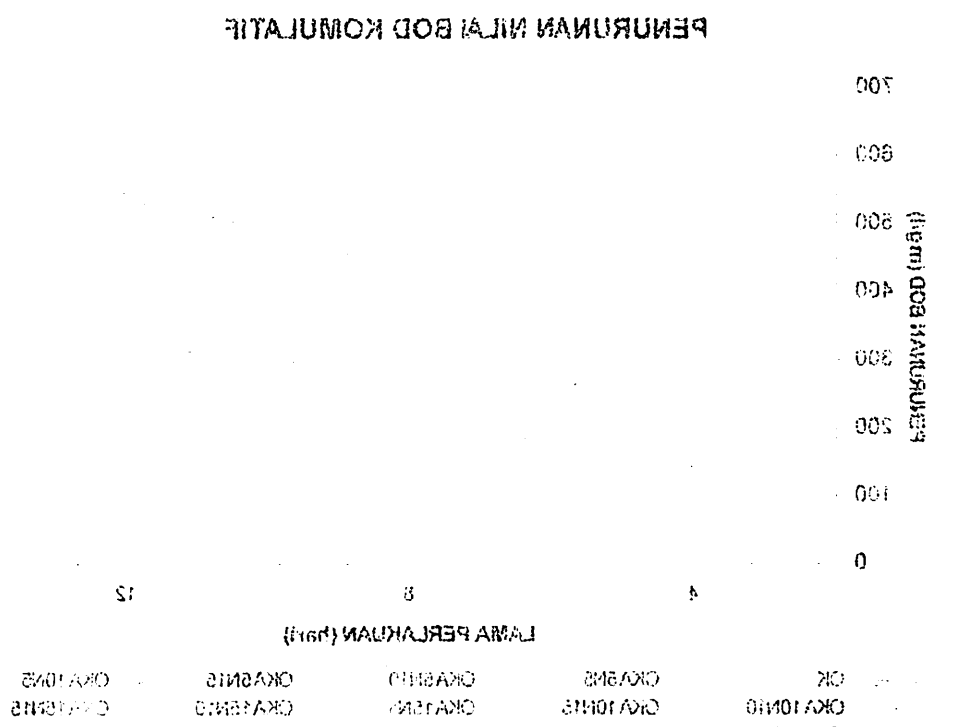
PENURUNAN NILAI BOD KOMULATIF



Gambar 4.2.b Grafik Penurunan Nilai BOD Kumulatif



Gambar 4.2a Grafik Peruruan Nilai BOD Komulatif



Gambar 4.2b Grafik Peruruan Nilai BOD Komulatif

4.2.2. Analisa Anova

Uji Anova dilakukan untuk menguji apakah semua kelompok perlakuan menghasilkan nilai penurunan nilai BOD dengan nilai yang berbeda secara signifikan (Santoso, 2001). Uji anova yang dilakukan disini adalah dengan *Univariate Analysis Variance* (menggunakan lebih dari satu faktor). Adapun hasil uji anova tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2.2.1.a Hasil Uji Anova Variasi Perlakuan Terhadap Penurunan Nilai BOD Untuk t = 4 Hari

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: penurunan BOD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	36617,436 ^a	9	4068,604	101,303	,000
Intercept	507616,387	1	507616,387	12839,002	,000
UJI	36617,436	9	4068,604	101,303	,000
Error	803,254	20	40,163		
Total	545037,077	30			
Corrected Total	37420,690	29			

a. R Squared = ,979 (Adjusted R Squared = ,969)

Hipotesis :

H_0 = Keseluruhan kombinasi perlakuan menghasilkan nilai penurunan tidak berbeda secara signifikan.

H_1 = Keseluruhan kombinasi perlakuan menghasilkan nilai penurunan yang berbeda secara signifikan.

Pengambilan keputusan :

Jika Probabilitas > 0.05 , maka H_0 diterima

Jika Probabilitas < 0.05 , maka H_1 diterima.

Keputusan :

Terlihat pada tabel bahwa nilai F_{hitung} adalah 101.303 dengan nilai probabilitas 0.000. Karena probabilitas < 0.05 , maka H_1 diterima atau Keseluruhan kombinasi perlakuan menghasilkan penurunan nilai BOD yang berbeda secara signifikan.

Untuk membuktikan hal tersebut maka dilakukan uji perbedaan penurunan nilai BOD dari keseluruhan kelompok perlakuan. Analisa yang

dilakukan untuk pembuktian ini adalah analisa *Post Hoc Test* dalam *Homogeneous Subset* (Santoso, 2001). Hasil uji tersebut ditampilkan pada tabel 4.2.2.1.b.

Dari hasil uji tersebut dapat dilihat bahwa tidak semua kelompok perlakuan nilai penurunan BOD yang berbeda secara nyata. Tidak berbedanya pengaruh masing-masing kelompok perlakuan tersebut dapat dilihat dengan terdapatnya nilai penurunan BOD pada *subset* yang sama pada sebagian variasi, kecuali variasi OK.

Tabel 4.2.2.1.b Hasil uji Post Hoc Test dalam Homogeneous Subset

penurunan BOD

Duncan ^{a,b}

UJI	N	Subset			
		1	2	3	4
ok	3	45,6567			
oka5n5	3		107,2033		
oka5n10	3		112,7767		
oka5n15	3		112,9567		
oka10n5	3			142,7533	
oka10n10	3			145,0267	
oka10n15	3			147,1333	
oka15n5	3			153,0600	
oka15n10	3				164,2000
oka15n15	3				170,0233
Sig.		1,000	,306	,081	,274

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 40,163.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.
- b. Alpha = ,05.

Tabel 4.2.2.2.a Hasil Uji Anova Variasi Perlakuan Terhadap Penurunan Nilai BOD Untuk t = 8 Hari

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: penurunan BOD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	119876,766 ^a	9	13319,641	1843,723	,000
Intercept	5713182,969	1	5713182,969	790826,8	,000
UJI	119876,766	9	13319,641	1843,723	,000
Error	144,486	20	7,224		
Total	5833204,221	30			
Corrected Total	120021,252	29			

- a. R Squared = ,999 (Adjusted R Squared = ,998)

Hipotesis :

H_0 = Keseluruhan kombinasi perlakuan menghasilkan nilai penurunan tidak berbeda secara signifikan.

H_1 = Keseluruhan kombinasi perlakuan menghasilkan nilai penurunan yang berbeda secara signifikan.

Pengambilan keputusan :

Jika Probabilitas > 0.05, maka H_0 diterima

Jika Probabilitas < 0.05, maka H_1 diterima.

Keputusan :

Terlihat pada tabel bahwa nilai F_{hitung} adalah 1843.723 dengan nilai probabilitas 0.000. Karena probabilitas < 0.05, maka H_1 diterima atau Keseluruhan kombinasi perlakuan menghasilkan penurunan nilai BOD yang berbeda secara signifikan.

Untuk membuktikan hal tersebut maka dilakukan uji perbedaan penurunan nilai BOD dari keseluruhan kelompok perlakuan. Analisa yang dilakukan untuk pembuktian ini adalah analisa *Post Hoc Test* dalam *Homogeneous Subset* (Santoso, 2001). Hasil uji tersebut ditampilkan pada tabel 4.2.2.2.b.

Dari hasil uji tersebut dapat dilihat penurunan nilai BOD yang dihasilkan pada setiap kelompok perlakuan yang diberikan berbeda secara nyata, kecuali variasi 3 dan 4. Berbedanya pengaruh masing-masing kelompok perlakuan tersebut dapat dilihat dengan terdapatnya nilai penurunan BOD pada *subset* yang berbeda pada tabel uji.

Tabel 4.2.2.2.b Hasil uji Post Hoc Test dalam Homogeneous Subset

penurunan BOD

Duncan^{a,b}

UJI	N	Subset								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
ok	3	280,4433								
oka5n5	3		410,4533							
oka5n10	3			419,8067						
oka5n15	3			422,9633						
oka10n5	3				432,1600					
oka10n10	3					438,1933				
oka10n15	3						444,1867			
oka15n5	3							494,2100		
oka15n10	3								507,2467	
oka15n15	3									514,2733
Sig.		1,000	1,000	,166	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 7,224.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

Tabel 4.2.2.3.a Hasil Uji Anova Variasi Perlakuan Terhadap Penurunan Nilai BOD Untuk t = 12 Hari

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: penurunan BOD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	160996,382 ^a	9	17888,487	872,341	,000
Intercept	8054372,312	1	8054372,312	392775,4	,000
UJI	160996,382	9	17888,487	872,341	,000
Error	410,126	20	20,506		
Total	8215778,820	30			
Corrected Total	161406,508	29			

a. R Squared = ,997 (Adjusted R Squared = ,996)

Hipotesis :

H_0 = Keseluruhan kombinasi perlakuan menghasilkan nilai penurunan tidak berbeda secara signifikan.

H_1 = Keseluruhan kombinasi perlakuan menghasilkan nilai penurunan yang berbeda secara signifikan.

Pengambilan keputusan :

Jika Probabilitas > 0.05, maka H_0 diterima

Jika Probabilitas < 0.05, maka H_1 diterima.

Keputusan :

Terlihat pada tabel bahwa nilai F_{hitung} adalah 872.341 dengan nilai probabilitas 0.000. Karena probabilitas < 0.05, maka H_1 diterima atau Keseluruhan kombinasi perlakuan menghasilkan penurunan nilai BOD yang berbeda secara signifikan.

Untuk membuktikan hal tersebut maka dilakukan uji perbedaan penurunan nilai BOD dari keseluruhan kelompok perlakuan. Analisa yang dilakukan untuk pembuktian ini adalah analisa *Post Hoc Test* dalam *Homogeneous Subset* (Santoso, 2001). Hasil uji tersebut ditampilkan pada tabel 4.2.2.3.b.

Dari hasil uji tersebut dapat dilihat penurunan nilai BOD yang dihasilkan pada setiap kelompok perlakuan yang diberikan sebagian besar berbeda secara

nyata. Berbedanya pengaruh masing-masing kelompok perlakuan tersebut dapat dilihat dengan terdapatnya nilai penurunan BOD pada *subset* yang berbeda pada sebagian besar variasi, kecuali pada variasi 5 dan 6, 6 dan 7, dan 9 dan 10.

Tabel 4.2.2.3.b Hasil uji Post Hoc Test dalam Homogeneous Subset

penurunan BOD

Duncan^{a,b}

UJI	N	Subset							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ok	3	322,9400							
oka5n5	3		482,2133						
oka5n10	3			497,8600					
oka5n15	3				509,8500				
oka10n5	3					535,4433			
oka10n10	3					542,6033	542,6033		
oka10n15	3						548,2233		
oka15n5	3							569,6233	
oka15n10	3								582,6533
oka15n15	3								590,0867
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	,067	,144	1,000	,058

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 20,506.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

4.2.3. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui bukti empiris hubungan antara ciri variabel yang diamati, maka dilakukan analisa dengan menggunakan analisa korelasi. Data yang digunakan dalam analisa korelasi ini adalah penurunan nilai BOD (4 hari, 8 hari, 12 hari). Hasil dari analisa tersebut ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel 4.2.3.a Korelasi Antara Penurunan Nilai BOD Dengan Kelompok Variasi Aerasi Dan Nutrisi Untuk t = 4 Hari

Correlations

		PENURUNAN BOD	AERASI	NUTRISI
PENURUNAN BOD	Pearson Correlation	1	,944**	,572
	Sig. (2-tailed)	,	,000	,084
	N	10	10	10
AERASI	Pearson Correlation	,944**	1	,375
	Sig. (2-tailed)	,000	,	,286
	N	10	10	10
NUTRISI	Pearson Correlation	,572	,375	1
	Sig. (2-tailed)	,084	,286	,
	N	10	10	10

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tabel 4.2.3.b Korelasi Antara Penurunan Nilai BOD Dengan Kelompok Variasi Aerasi Dan Nutrisi Untuk t = 8 Hari

Correlations

		PENURUNAN BOD	AERASI	NUTRISI
PENURUNAN BOD	Pearson Correlation	1	,927**	,576
	Sig. (2-tailed)	,	,000	,082
	N	10	10	10
AERASI	Pearson Correlation	,927**	1	,375
	Sig. (2-tailed)	,000	,	,286
	N	10	10	10
NUTRISI	Pearson Correlation	,576	,375	1
	Sig. (2-tailed)	,082	,286	,
	N	10	10	10

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tabel 4.2.3.c Korelasi Antara Penurunan Nilai BOD Dengan Kelompok Variasi Aerasi Dan Nutrisi Untuk t = 12 Hari

Correlations

		PENURUNAN BOD	AERASI	NUTRISI
PENURUNAN BOD	Pearson Correlation	1	,896**	,629
	Sig. (2-tailed)	,	,000	,051
	N	10	10	10
AERASI	Pearson Correlation	,896**	1	,375
	Sig. (2-tailed)	,000	,	,286
	N	10	10	10
NUTRISI	Pearson Correlation	,629	,375	1
	Sig. (2-tailed)	,051	,286	,
	N	10	10	10

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Berdasarkan tabel 4.2.3.a.b.c. dari hasil analisa statistik uji korelasi antara penurunan nilai BOD dengan variasi aerasi dan nutrisi yang diuji coba pada sampel limbah menunjukkan hubungan antara variabel tersebut yang dihitung dengan angka koefisien korelasi adalah :

Tabel 4.2.3.a. (analisa t = 4 hari)

- Penurunan nilai BOD akibat pemberian aerasi menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0.944. Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat (di atas 0.5) (Yarnest, 2003). Tanda “+“ menunjukkan arah hubungan yang searah, dimana semakin besar aerasi yang diberikan akan diikuti dengan

peningkatan penurunan nilai BOD atau semakin kecil nilai BOD . Tingkat signifikansi nilai BOD dengan aerasi ditunjukkan dengan nilai probabilitas 0.000 yang lebih kecil dari 0.05, maka korelasinya signifikan. Berdasarkan tanda ** dapat disimpulkan bahwa antara aerasi dan penurunan nilai BOD berkorelasi secara signifikan, (*Yarnest, 2003*).

- Penurunan nilai BOD akibat pemberian nutrisi menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0.572. Hal ini menunjukkan hubungan yang cukup kuat (di atas 0.5) (*Yarnest, 2003*). Tanda “+” menunjukkan arah hubungan yang searah, dimana semakin besar aerasi yang diberikan akan diikuti dengan peningkatan penurunan nilai BOD atau nilai BOD semakin kecil. Tingkat signifikansi nilai BOD dengan aerasi ditunjukkan dengan nilai probabilitas 0.082 yang lebih besar dari 0.05, maka korelasinya cukup signifikan.

Tabel 4.2.3.b (analisa t = 8 hari)

- Penurunan nilai BOD akibat pemberian aerasi menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0.927. Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat (di atas 0.5) (*Yarnest, 2003*). Tanda “+” menunjukkan arah hubungan yang sama, dimana semakin besar aerasi yang diberikan akan diikuti dengan peningkatan penurunan nilai BOD atau nilai BOD semakin kecil. Tingkat signifikansi nilai penurunan BOD dengan aerasi ditunjukkan dengan nilai probabilitas 0.000 yang lebih kecil dari 0.05, maka korelasinya signifikan. Berdasarkan tanda ** dapat disimpulkan bahwa antara aerasi dan penurunan nilai BOD berkorelasi secara signifikan, (*Yarnest, 2003*).
- Penurunan nilai BOD akibat pemberian nutrisi menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0.576. Hal ini menunjukkan hubungan yang cukup kuat (di atas 0.5) (*Yarnest, 2003*). Tanda “+” menunjukkan arah hubungan yang sama, dimana semakin besar nutrisi yang diberikan akan diikuti dengan peningkatan penurunan nilai BOD atau nilai BOD semakin kecil. Tingkat signifikansi nilai BOD dengan nutrisi ditunjukkan dengan nilai probabilitas 0.082 yang lebih besar dari 0.05, maka korelasinya cukup signifikan.

Tabel 4.2.3.c (analisa t = 12 hari)

- Penurunan nilai BOD akibat pemberian aerasi menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0.896 Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat (di atas

0.5) (Yarnest, 2003). Tanda “+” menunjukkan arah hubungan yang sama, dimana semakin besar aerasi yang diberikan akan diikuti dengan peningkatan penurunan nilai BOD atau nilai BOD semakin kecil. Tingkat signifikansi nilai BOD dengan aerasi ditunjukkan dengan nilai probabilitas 0.000 yang lebih kecil dari 0.05, maka korelasinya signifikan. Berdasarkan tanda ** dapat disimpulkan bahwa antara aerasi dan penurunan nilai BOD berkorelasi secara signifikan, (Yarnest, 2003).

- Penurunan nilai BOD akibat pemberian nutrisi menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0.629 Hal ini menunjukkan hubungan yang kuat (di atas 0.5) (Yarnest, 2003). Tanda “+” menunjukkan arah hubungan yang sama, dimana semakin besar aerasi yang diberikan akan diikuti dengan peningkatan penurunan nilai BOD atau nilai BOD semakin kecil. Tingkat signifikansi nilai BOD akhir dengan nutrisi ditunjukkan dengan nilai probabilitas 0.051 yang lebih besar dari 0.05, maka korelasinya cukup signifikan.

4.2.4. Analisa Regresi

Untuk mengetahui bukti empiris keeratan hubungan antar variabel maka kita analisa data dengan menggunakan analisa regresi. Data yang digunakan dalam analisa ini adalah data prosentase removal krom. Hasil dari analisa tersebut di tampilkan pada tabel berikut

**Tabel 4.2.4.a Regresi Berdasarkan Lama Perlakuan 4 Hari
Nilai Adjusted Square**

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.973 ^a	.947	.932	9,62148

a. Predictors: (Constant), NUTRISI, AERASI

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	11556,798	2	5778,399	62,420	.000 ^a
	Residual	648,010	7	92,573		
	Total	12204,807	9			

a. Predictors: (Constant), NUTRISI, AERASI

b. Dependent Variable: PENURUNAN BOD

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	59,290	7,396		8,016	,000
	AERASI	30,267	3,350	,849	9,035	,000
	NUTRISI	9,060	3,350	,254	2,705	,030

a. Dependent Variable: PENURUNAN BOD

**Tabel 4.2.4.b Regresi Berdasarkan Lama Perlakuan 8 Hari
Nilai Adjusted Square**

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,959 ^a	,921	,898	21,30288

a. Predictors: (Constant), NUTRISI, AERASI

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	36783,419	2	18391,709	40,527	,000 ^a
	Residual	3176,688	7	453,813		
	Total	39960,107	9			

a. Predictors: (Constant), NUTRISI, AERASI

b. Dependent Variable: PENURUNAN BOD

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	309,449	16,376		18,897	,000
	AERASI	53,421	7,417	,828	7,203	,000
	NUTRISI	17,103	7,417	,265	2,306	,055

a. Dependent Variable: PENURUNAN BOD

**Tabel 4.2.4.c Regresi Berdasarkan Lama Perlakuan 12 Hari
Nilai Adjusted Square**

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,950 ^a	,902	,874	27,41008

a. Predictors: (Constant), NUTRISI, AERASI

ANOVA ^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	48405,741	2	24202,871	32,214	,000 ^a
	Residual	5259,187	7	751,312		
	Total	53664,928	9			

a. Predictors: (Constant), NUTRISI, AERASI

b. Dependent Variable: PENURUNAN BOD

Coefficients ^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	368,944	21,070		17,510	,000
	AERASI	57,408	9,543	,768	6,016	,001
	NUTRISI	25,483	9,543	,341	2,670	,032

a. Dependent Variable: PENURUNAN BOD

Dari tabel di atas dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Persamaan Regresi

a. Pada Analisa 4 hari (tabel 4.2.4.a)

Persamaan regresi untuk penurunan nilai BOD oleh kayu apu dengan kombinasi pemberian aerasi, nutrisi dan lama perlakuan didapatkan:

$$Y = 59.290 + 30.267 \cdot x_1 + 9.060 \cdot x_2$$

Dari persamaan regresi di atas maka jika kita memberikan aerasi sebesar 1 kg/h, maka penurunan nilai BOD akan meningkat sebesar 30.26 mg/l. Jika kita menambahkan nutrisi sebesar 1 gr, maka penurunan nilai BOD akan meningkat sebesar 9.06 mg/l.

Dari analisa regresi di atas didapat nilai R sebesar 0.973. nilai tersebut > 0.5 yang menunjukkan hubungan yang sangat kuat (mendekati 1) antara variabel aerasi, nutrisi dengan peningkatan penurunan nilai BOD, (Yarnest, 2003).

b. Pada Analisa 8 Hari (tabel 4.2.4.b)

Persamaan regresi untuk penurunan nilai BOD oleh kayu apu dengan kombinasi pemberian aerasi dan nutrisi didapatkan:

$$Y = 309.449 + 53.421 \cdot x_1 + 17.103 \cdot x_2$$

Dari persamaan regresi di atas maka jika kita memberikan aerasi sebesar 1 kg/h, maka penurunan nilai BOD akan meningkat sebesar 53.421 mg/l. Jika

kita menambahkan nutrisi sebesar 1 gr, maka penurunan nilai BOD akan meningkat sebesar 17.103 mg/l.

Dari analisa di atas didapatkan nilai R sebesar 0.959. nilai tersebut > 0.5 yang menunjukkan hubungan yang sangat kuat (mendekati 1) antara variabel aerasi, nutrisi dengan penurunan nilai BOD (Yarnest, 2003).

c. Pada Analisa 12 Hari (tabel 4.2.4.c)

Persamaan regresi penurunan nilai BOD oleh kayu apu dengan kombinasi pemberian aerasi dan nutrisi didapatkan:

$$Y = 368.944 + 57.408 \cdot x_1 + 25.483 \cdot x_2$$

Dari analisa regresi di atas maka jika kita memberikan aerasi sebesar 1 kg/h, maka penurunan nilai BOD akan meningkat sebesar 57.408 mg/l. Jika kita menambahkan nutrisi sebesar 1 gr, maka penurunan nilai BOD akan meningkat sebesar 25.483 mg/l.

Dari persamaan regresi di atas didapatkan nilai R sebesar 0.950 nilai tersebut > 0.5 yang menunjukkan hubungan yang sangat kuat (mendekati 1) antara variabel aerasi, nutrisi dengan penurunan nilai BOD, (Yarnest, 2003).

Ket :

Dimana ; Y = Penurunan BOD X_1 = Pemberian aerasi, X_2 = Pemberian nutrisi

2. Uji t dilakukan untuk menguji signifikansi konstanta dan variabel independen.

Hipotesis :

- H_0 : koefisien regresi tidak signifikan
- H_1 : koefisien regresi signifikan

Pengambilan Keputusan :

- Jika $t_{hitung} < t_{tabel}$, maka H_0 diterima
- Jika $t_{hitung} > t_{tabel}$, maka H_1 diterima

Keputusan :

a. Pada Analisa 4 Hari (tabel 4.2.4.a)

1. Berdasarkan nilai t

- Variabel aerasi memiliki t hitung = 9.035 sedangkan t tabel dengan Df (derajat kebebasan) = jumlah data - 2 atau $10 - 2 = 8$. Tingkat signifikansi (α) = 1%. Dari tabel didapat nilai t = 3.335.
t hitung (9.035) > t tabel (3.335), maka H_1 diterima atau koefisien regresi signifikan.
- Variabel nutrisi memiliki t hitung = 2.705 sedangkan t tabel dengan Df (derajat kebebasan) = jumlah data - 2 atau $10 - 2 = 8$. Tingkat signifikansi (α) = 5%. Dari tabel didapat nilai t = 2.306.
t hitung (2.705) < t tabel (2.306), maka H_1 diterima atau koefisien regresi signifikan.

2. Berdasarkan probabilitas

Jika probabilitas > 0,05 maka H_0 diterima

Jika probabilitas < 0,05 maka H_1 diterima

Keputusan :

Dari kolom signifikan, untuk variabel aerasi adalah 0,000 dan untuk variabel nutrisi adalah 0,03 atau probabilitas < 0,05 sehingga H_1 diterima, atau koefisien regresi variabel aerasi dan nutrisi benar – benar berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan penurunan nilai BOD.

b. Pada Analisa 8 Hari (tabel 4.2.4.b)

1. Berdasarkan nilai t

- Variabel aerasi memiliki t hitung = 7.203 sedangkan t tabel dengan Df (derajat kebebasan) = jumlah data - 2 atau $10 - 2 = 8$. Tingkat signifikansi (α) = 1%. Dari tabel didapat nilai t = 3.335.
t hitung (7.203) > t tabel (3.335), maka H_1 diterima atau koefisien regresi signifikan.

- Variabel nutrisi memiliki t hitung = 2.306 sedangkan t tabel dengan Df (derajat kebebasan) = jumlah data – 2 atau $10 - 2 = 8$. Tingkat signifikansi (α) = 5%. Dari tabel didapat nilai $t = 2.306$
 t hitung (2.306) = t tabel (2.306), maka H_0 diterima atau koefisien regresi tidak signifikan.

2. Berdasarkan probabilitas

Jika probabilitas > 0,05 maka H_0 diterima

Jika probabilitas < 0,05 maka H_1 diterima

Keputusan :

Dari kolom signifikan, untuk variabel aerasi adalah 0,000 atau probabilitas < 0,05. sehingga H_1 diterima, atau koefisien regresi variabel aerasi berpengaruh secara signifikan, sedangkan variabel nutrisi sebesar 0.055 atau probabilitas > 0.05 sehingga H_0 diterima, atau koefisien regresi variabel nutrisi tidak signifikan.

c. Pada Analisa 12 Hari (tabel 4.2.4.c)

1. Berdasarkan nilai t

- Variabel aerasi memiliki t hitung = 6.016 sedangkan t tabel dengan Df (derajat kebebasan) = jumlah data – 2 atau $10 - 2 = 8$. Tingkat signifikansi (α) = 5%. Dari tabel didapat nilai $t = 3.335$
 t hitung (6.016) > t tabel (3.335), maka H_1 diterima atau koefisien regresi signifikan.
- Variabel nutrisi memiliki t hitung = 2.670 sedangkan t tabel dengan Df (derajat kebebasan) = jumlah data – 2 atau $10 - 2 = 8$. Tingkat signifikansi (α) = 1%. Dari tabel didapat nilai $t = 2.306$.
 t hitung (2.670) > t tabel (2.306), maka H_1 diterima atau koefisien regresi signifikan.

2. Berdasarkan probabilitas

Jika probabilitas > 0,05 maka H_0 diterima

Jika probabilitas < 0,05 maka H_1 diterima

Keputusan :

Dari kolom signifikan, untuk variabel aerasi adalah 0.001 dan untuk variabel nutrisi adalah 0.0032 atau probabilitas $< 0,05$. sehingga H_1 diterima atau koefisien regresi kedua variabel berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan penurunan nilai BOD.

4.3. Pembahasan

4.3.1. Penurunan Kadar Krom

Di dalam air limbah yang dihasilkan dari pabrik penyamakan kulit terdapat kandungan krom yang cukup tinggi, hal ini disebabkan karena pada proses penyamakan (*Tanning*) digunakan krom untuk memberikan warna pada kulit, membuat kulit menjadi lemas dan tahan terhadap panas. Untuk mengurangi kadar krom tersebut harus dilakukan suatu sistem pengolahan yang dapat menurunkan kadar krom dalam air limbah. Dalam penelitian ini digunakan tanaman kayu apu yang dikombinasikan dengan pemberian aerasi dan nutrisi sebagai media yang berfungsi menyerap krom yang terdapat dalam air limbah penyamakan kulit. Kayu apu digunakan dalam penelitian karena kayu apu memiliki kemampuan dalam menyerap logam berat, (*Diana dewi dan Agus slamet, 2001*).

Dari hasil percobaan selama 12 hari yang diikuti dengan analisa setiap 4 hari sekali mengenai kandungan krom yang terdapat dalam air limbah menunjukkan bahwa kayu apu yang dikombinasikan dengan pemberian aerasi dan nutrisi mampu menurunkan atau menyerap krom yang terdapat dalam air limbah penyamakan kulit. Dalam penelitian ini kayu apu dikombinasikan dengan pemberian aerasi sebesar 0,025 kg/h, 0,05 kg/h, 0,075 kg/h dan pemberian nutrisi sebesar 0,5 gr, 1,0 gr dan 1,5 gr fosfor.

Dari hasil analisa, % removal krom kumulatif terbesar dihasilkan dari kombinasi OKA15N15 (kayu apu dengan aerasi 0,075 kg/h dan nutrisi 1,5 gr) sebesar 70,40 %. Sedangkan % removal kumulatif terkecil dihasilkan dari kombinasi OK (kayu apu tanpa pemberian aerasi dan nutrisi) sebesar 28,08%. Hasil analisa setiap variasi dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.3.1 Prosentase Removal Krom Kumulatif

perlakuan	krom awal (mg/l)	analisa 4 hari		analisa 8 hari		analisa 12 hari	
		krom akhir (mg/l)	% removal	krom akhir (mg/l)	% removal	krom akhir (mg/l)	% removal
OK	592,27	578,49	2,33	460,61	22,23	425,97	28,08
OK A5N5	592,27	530,62	10,41	374,18	36,82	262,87	55,62
OK A5N10	592,27	516,54	12,79	360,45	39,14	259,76	56,14
OK A5N15	592,27	513,81	13,25	334,32	43,55	235,32	60,27
OK A10N5	592,27	525,80	11,22	367,91	37,88	251,39	57,56
OK A10N10	592,27	513,52	13,30	341,78	42,29	230,74	61,04
OK A10N15	592,27	495,40	16,36	324,82	45,16	209,30	64,66
OK A15N5	592,27	520,69	12,09	361,76	38,92	228,03	61,50
OK A15N10	592,27	508,40	14,16	335,84	43,30	202,54	65,80
OK A15N15	592,27	493,04	16,75	319,30	46,09	175,30	70,40

Dari data hasil analisa dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan aerasi dan nutrisi dapat meningkatkan kemampuan kayu apu dalam menurunkan konsentrasi krom, hal ini dapat dilihat pada variasi aerasi dengan penambahan nutrisi yang berbeda, diperoleh peningkatan % removal seiring dengan penambahan nutrisi. Begitu juga dengan variasi nutrisi dengan penambahan aerasi juga didapat peningkatan % removal krom seiring dengan penambahan aerasi.

Dari tabel di atas dapat dilihat adanya perbedaan hasil % removal yang cukup besar antara kayu apu dengan dan tanpa aerasi dan nutrisi. Perbedaan % removal krom antara kayu apu tanpa pemberian aerasi dan nutrisi dengan kayu apu yang dikombinasikan dengan pemberian aerasi dan nutrisi diperkirakan karena faktor sebagai berikut :

- Aerasi : dari data penelitian dapat dilihat bahwa aerasi memiliki peran dalam meningkatkan % removal krom. Hal ini disebabkan karena oksigen yang diinjeksikan pada bak penelitian akan digunakan oleh tanaman kayu apu untuk mengoksidasi substrat di sekelilingnya melalui akar. Oksidasi substrat tersebut mendukung populasi mikroba aerobik dalam rizofe, (*Gersberg et al., 1986*).
- Nutrisi : dari data penelitian dapat dilihat bahwa nutrisi yang diberikan pada kayu apu berperan dalam meningkatkan % removal krom. Hal ini terjadi karena nutrisi (*fosfor*) dapat meningkatkan pertumbuhan akar benih dan akar muda yang nantinya akan berfungsi untuk menyerap krom

(Lingga P. 1999). Semakin besar konsentrasi logam dalam tubuh tanaman dapat menyebabkan terbatasnya jumlah fosfor, kalium dan besi dalam tubuh tanaman, (Barber, 1974). Hal inilah yang menyebabkan kematian akar yang akan berdampak pada kurang maksimalnya kinerja kayu apu.

- Mikroba : mikroba yang terdapat pada sistem perakaran kayu apu juga dapat membantu menurunkan kandungan krom yang terdapat dalam air limbah. Proses penyerapan logam oleh mikroorganisme dikenal dengan nama biosorpsi. Proses penyerapan ini terjadi ketika ion logam berat mengikat dinding sel dengan pertukaran ion, dimana ion monovalent dan divalent seperti Na, Mg, dan Ca yang terdapat dalam dinding sel akan digantikan dengan ion – ion logam berat (Suhendrayatna, 2001).
- Sedangkan pada kombinasi tanpa pemberian aerasi dan nutrisi, kayu apu pada dasarnya memiliki kemampuan untuk menyerap logam, akan tetapi kemampuannya tidak sebesar kayu apu yang dikombinasikan dengan aerasi dan nutrisi.

Dari analisa yang dilakukan setiap 4 hari sekali (4 hari, 8 hari, 12 hari) dapat dilihat bahwa pada setiap tahapan terdapat perbedaan tingkat % removal krom, dimana % removal terbesar terjadi pada analisa 8 hari, sedangkan % removal terkecil terjadi pada analisa 4 hari.

Perbedaan % removal yang terjadi pada setiap tahapan analisa diperkirakan disebabkan oleh :

- Analisa pada $t = 4$ hari : pada percobaan $t = 4$ hari diperkirakan kayu apu dan mikroba pada akar kayu apu masih beradaptasi dengan kondisi air limbah, dimana kita ketahui habitat asli dari kayu apu tidak mengandung kandungan zat kimia yang kompleks seperti pada air limbah penyamakan kulit. Dengan adanya pemberian aerasi dan nutrisi, secara tidak langsung akan membantu proses adaptasi dari kayu apu dan selama proses adaptasi tersebut kayu apu dapat menyerap krom lebih besar dibandingkan dengan kayu apu tanpa pemberian aerasi dan nutrisi. Pada tahap ini kayu apu sudah mulai menyerap krom dengan mengeluarkan zat khelat (*fitosidorofor*) yang digunakan untuk mengikat krom. Selanjutnya krom

akan diangkat dan dilokalisasi pada bagian tubuh kayu apu, (*Budhi P dan Joko P, 2001*). Begitu juga dengan mikroba, mikroba juga memerlukan waktu untuk beradaptasi dengan kondisi air limbah. Dari hasil pengamatan, pada tahap ini kondisi kayu apu masih baik, dimana daun – daun kayu apu masih terlihat segar dengan warna hijau muda, pada tahap ini diperkirakan kayu apu mengandung 13 mg/l sampai 99 mg/l krom.

- Analisa pada $t = 8$ hari : pada percobaan $t = 8$ hari diperkirakan kayu apu dan mikroba telah mampu beradaptasi dengan kondisi air limbah sehingga dalam proses penyerapan krom kayu apu dapat bekerja secara maksimal. Ditambah lagi dengan pemberian aerasi dan nutrisi yang kita ketahui bermanfaat bagi metabolisme dan mempercepat pertumbuhan akar, khususnya akar benih dan akar muda, (*Lingga. 1999*). Begitu juga dengan mikroba, dengan adanya pemberian aerasi dan nutrisi dapat meningkatkan kemampuan mikroba dalam menyerap krom. Dengan bertambahnya kandungan krom yang terdapat dalam tubuh kayu apu maka akan berpengaruh pada kondisi fisik kayu apu, (*Diana D. dan Agus S. 2001*). Dari pengamatan dapat dilihat bahwa kondisi daun kayu apu sudah tidak mekar sempurna dan sedikit layu dengan warna yang mulai berubah, pada tahap ini diperkirakan kayu apu mengandung 131 mg/l sampai 272 mg/l krom.
- Analisa pada $t = 12$ hari : pada percobaan $t = 12$ hari diperkirakan kondisi kayu apu sudah mulai jenuh dengan krom, hal ini dapat dilihat pada kondisi kayu apu, dimana daun kayu apu sudah berwarna coklat kekuning – kuning, pada tahap ini diperkirakan kayu apu mengandung 416 mg/l krom. Hal ini disebabkan karena kandungan krom yang terdapat dalam tubuh kayu apu sudah melebihi ambang batas, sehingga kemampuan kayu apu dalam menyerap krom tidak maksimal dan apabila krom yang terdapat dalam tubuh kayu apu sudah terlalu banyak maka kayu apu akan melepaskan kembali krom tersebut ke air limbah melalui proses difusi dengan homeostatis yang mengendalikan tingkat kandungan logam dalam tubuh dan penyebaran jaringan. Namun jika pengambilan berlebihan,

mekanisme homeostatis dihambat dan mulai terjadi bioakumulasi karena laju pengambilan melampaui laju pengurangan sehingga mengakibatkan kayu apu menjadi mati, (*Connel and Miller, 1995*). Bowen (1966), menyatakan bahwa mekanisme yang penting dalam toksisitas logam adalah peracunan pada enzim. Disini logam – logam akan mengikat gugus amino dan sulfhidril dalam enzim, sehingga dapat mengganggu kerja enzim tersebut. Hal inilah yang terjadi pada kayu apu dimana kandungan ion logam dalam tubuhnya semakin besar maka semakin besar pula kerja enzim – enzim yang terganggu. Begitu juga dengan mikroba, pada masa ini mikroba sudah mulai jenuh dengan kondisi air limbah ditambah lagi dengan jumlah substrat dan nutrisi sudah berkurang serta jumlah mikroba yang mati lebih besar daripada pertumbuhannya.

4.3.2. Penurunan Nilai BOD

Dalam air limbah yang dihasilkan dari pabrik penyamakan kulit terdapat kandungan nilai BOD yang cukup tinggi, tingginya nilai BOD ini disebabkan karena masih adanya zat organik yang belum teruraikan. Nilai BOD dalam suatu air limbah mencerminkan besarnya pencemaran yang terjadi, semakin besar nilai BOD maka mencerminkan pencemaran yang besar pula.

Untuk mengurangi pencemaran maka perlu dilakukan suatu pengolahan yang baik agar didapat hasil yang maksimal. Dalam penelitian ini digunakan tanaman kayu apu yang dikombinasikan dengan pemberian nutrisi dan aerasi, pada dasarnya kayu apu tidak dapat menurunkan nilai BOD, akan tetapi dilakukan oleh mikroba aerob yang terdapat pada sistem perakaran. Pada tumbuhan oksigen akan ditransportasikan ke jaringan akar dan mengoksidasi substrat di sekelilingnya. Oksidasi substrat mendukung populasi mikroba aerobik pada rizosfer (*Gersberg et al., 1986*).

Dari hasil percobaan selama 12 hari yang diikuti dengan analisa setiap 4 hari sekali mengenai kandungan nilai BOD yang terdapat dalam air limbah menunjukkan bahwa kayu apu yang dikombinasikan dengan pemberian aerasi dan nutrisi mampu menurunkan nilai BOD yang terdapat dalam air limbah penyamakan kulit. Dalam penelitian ini kayu apu dikombinasikan dengan

pemberian aerasi sebesar 0,025 kg/h, 0,05 kg/h, 0,075 kg/h dan pemberian nutrisi sebesar 0,5 gr, 1,0 gr dan 1,5 gr fosfor.

Dari hasil analisa, penurunan nilai BOD terbesar dihasilkan dari kombinasi OKA15N15 (kayu apu dengan aerasi 0,075 kg/h dan nutrisi 1,5 gr) sebesar 590,09 mg/l. Sedangkan penurunan nilai BOD terkecil dihasilkan dari kombinasi OK (kayu apu tanpa pemberian aerasi dan nutrisi) sebesar 322,94 mg/l. Hasil analisa dari setiap variasi dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.3.2 Penurunan Nilai BOD Kumulatif

perlakuan	BOD awal (mg/l)	analisa 4 hari		analisa 8 hari		analisa 12 hari	
		BOD akhir (mg/l)	penurunan (mg/l)	BOD akhir (mg/l)	penurunan (mg/l)	BOD akhir (mg/l)	penurunan (mg/l)
OK	760,97	715,31	45,66	480,53	280,44	438,03	322,94
OK A5 N5	760,97	653,77	107,20	350,52	410,45	278,76	482,21
OK A5 N10	760,97	648,19	112,78	341,16	419,81	263,11	497,86
OK A5 N15	760,97	648,01	112,96	338,01	422,96	251,12	509,85
OK A10 N5	760,97	618,22	142,75	328,81	432,16	225,53	535,44
OK A10 N10	760,97	615,94	145,03	322,78	438,19	218,37	542,60
OK A10 N15	760,97	613,84	147,13	316,78	444,19	212,75	548,22
OK A15 N5	760,97	607,91	153,06	266,76	494,21	191,35	569,62
OK A15 N10	760,97	569,77	164,20	253,72	507,25	178,32	582,65
OK A15 N15	760,97	590,95	170,02	246,70	514,27	170,88	590,09

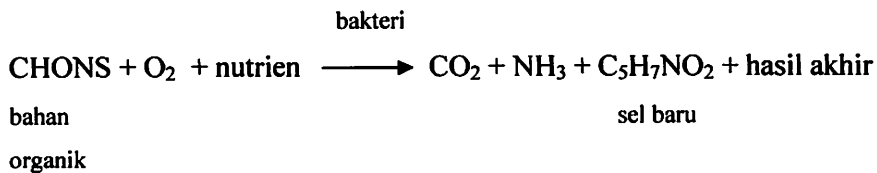
Dari data hasil analisa dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan aerasi dan nutrisi dapat meningkatkan kemampuan kayu apu dalam menurunkan nilai BOD, hal ini dapat dilihat pada variasi aerasi dengan penambahan nutrisi yang berbeda, diperoleh peningkatan penurunan nilai BOD seiring dengan penambahan nutrisi. Begitu juga dengan variasi nutrisi dengan penambahan aerasi juga didapat peningkatan penurunan nilai BOD seiring dengan penambahan aerasi.

Perbedaan penurunan nilai BOD antara kayu apu tanpa pemberian aerasi dan nutrisi dengan kayu apu yang dikombinasikan dengan pemberian aerasi dan nutrisi diperkirakan karena faktor sebagai berikut :

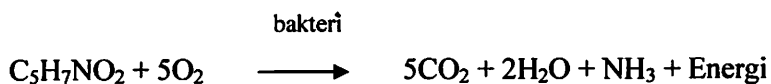
- Aerasi : seperti kita ketahui BOD adalah kebutuhan oksigen biologis yang digunakan oleh mikroorganisme aerob untuk menguraikan zat organik yang terdapat dalam air limbah. Untuk memenuhi kebutuhan oksigen

tersebut dilakukan penginjeksian oksigen ke dalam air limbah yang di dalamnya terdapat kayu apu dan mikroba aerob pada sistem perakarannya. Dengan adanya penginjeksian oksigen tersebut maka secara langsung dapat memenuhi kebutuhan mikroba akan oksigen sehingga kemampuannya dalam menguraikan zat organik menjadi lebih besar. Sedangkan pada kayu apu, oksigen dapat dihasilkan dari proses fotosintesis yang akan dialirkan melalui akar, sehingga dapat meningkatkan nilai DO pada air limbah, seperti yang diutarakan oleh Moenandir dan Irawan (1993).

Reaksi oksidasi dan sintesa sel adalah sebagai berikut :



Sintesis/respirasi :



Sumber : teknik pengolahan air limbah secara biologis, Bowo Djoko M.

- Nutrisi : nutrisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah fosfor. Pada dasarnya nutrisi ini ditujukan untuk meningkatkan kemampuan akar, mempercepat pertumbuhan akar baru dan akar muda, fosfor bagi mikroba juga digunakan sebagai sumber mineral selain nitrogen, karbon, oksigen dan hidrogen. Selain itu cahaya matahari juga termasuk nutrisi yang sangat membantu perkembangan mikroba (*Suriawiria U. 1980*). Dengan adanya nutrisi yang diberikan, maka secara langsung akan meningkatkan kondisi dari mikroba tersebut yang akan berdampak pada meningkatnya kemampuan mikroba dalam menguraikan zat organik.

Dari analisa yang dilakukan setiap 4 hari sekali (4 hari, 8 hari, 12 hari) dapat dilihat bahwa pada setiap tahapan terdapat perbedaan tingkat penurunan nilai BOD, dimana penurunan nilai BOD terbesar terjadi pada analisa 8 hari, sedangkan penurunan nilai BOD terkecil terjadi pada analisa 12 hari.

Perbedaan penurunan nilai BOD yang terjadi pada setiap tahapan analisa diperkirakan disebabkan oleh :

- Analisa pada $t = 4$ hari : pada percobaan $t = 4$ hari terjadi penurunan nilai BOD yang tidak terlalu tinggi, hal ini disebabkan karena baik mikroba dan kayu apu masih beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang baru, akan tetapi dengan adanya pemberian nutrisi maka dapat meningkatkan kemampuan mikroba dalam menguraikan zat organik. Pada tahap ini mikroba sudah dapat menguraikan zat organik yang terdapat dalam air limbah.
- Analisa pada $t = 8$ hari : pada percobaan $t = 8$ hari diperkirakan mikroba sudah dapat beradaptasi dengan baik sehingga penurunan nilai BOD yang dihasilkan juga cukup besar. Pada tahap ini diperkirakan mikroba telah memperbanyak diri yang tentunya harus dimbangi dengan pasokan nutrisi, oksigen, cahaya dan sebagainya. Dengan adanya penambahan jumlah serta makanan yang cukup maka akan diikuti dengan meningkatnya kemampuan mikroba dalam menguraikan zat organik yang terdapat dalam limbah.
- Analisa pada $t = 12$ hari : pada percobaan $t = 12$ hari masih terjadi aktifitas mikroba dalam menguraikan zat organik, akan tetapi jumlah penurunan nilai BOD yang dihasilkan sangat rendah. Rendahnya penurunan nilai BOD ini diperkirakan karena mikroba sudah mulai jenuh dengan kondisi air limbah dan pasokan nutrisi sudah habis, sehingga jumlah kematian mikroba lebih besar daripada jumlah pertumbuhannya yang akan berdampak pada rendahnya aktifitas mikroba dalam menguraikan zat organik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Tanaman kayu apu memiliki kemampuan dalam menurunkan konsentrasi krom sebesar 28,08 % (konsentrasi akhir 425,97 mg/l dengan konsentrasi awal 590,27 mg/l) dan menurunkan nilai BOD sebesar 40,87 % (nilai BOD akhir 438,03 mg/l dengan nilai BOD awal 760,97 mg/l) pada limbah penyamakan kulit.
2. Tanaman kayu apu yang dikombinasikan dengan pemberian nutrisi (fosfor) dan penginjeksian oksigen memiliki kemampuan yang lebih besar dalam menurunkan konsentrasi krom dan BOD pada limbah penyamakan kulit dengan hasil penelitian sebagai berikut :
 - % removal krom komulatif terbesar adalah 70,40 % (konsentrasi akhir 175,30 mg/l dengan konsentrasi awal 590,27 mg/l) yang didapatkan dari variasi OKA15N15 (kayu apu yang dikombinasikan dengan pemberian nutrisi sebesar 1,5 gr. dan pemberian aerasi sebesar 0.075 kg/h).
 - Penurunan nilai BOD komulatif terbesar adalah 77,54 % (nilai BOD akhir 170,88 mg/l dengan nilai BOD awal 760,97 mg/l) yang didapatkan dari variasi OKA15N15 (kayu apu yang dikombinasikan dengan pemberian nutrisi sebesar 1,5 gr dan pemberian aerasi sebesar 0.075 kg/h).

5.2. Saran – saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan tanaman dan jenis limbah yang berbeda.
2. Untuk penelitian serupa perlu diperhatikan juga :
 - Variasi pemberian nutrisi dan aerasi diperbesar.
 - Perlu dilakukan analisa kandungan krom yang terdapat pada tubuh kayu apu.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan sistem aliran kontinyu.
4. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan kayu apu yang dikombinasikan dengan tanaman air lain secara bersama – sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Alearts, G. dan S. S. Santika, 1987. *Metode Penelitian Air*. Penerbit Usaha Nasional. Surabaya.
- Barber, S. A. 1974. *Influence Of The Plant Root Iron- Movement In The Soil*. Univ. Press, Virginia.
- Bowen, H. J. M, 1996. *Trace Elements And Biochemistry*. A Camic Press, London.
- Bowo, D. M. *Teknik Pengolahan Air Limbah Secara Biologis*. ITS Surabaya.
- Budi, P. dan Joko P. 2001. *Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat*. BPPT Bandung.
- Connell, D. W. and G. J. Miller, 1995. *Kimia Dan Ekotoksikologi Pencemaran*. Cetakan I UI. Jakarta.
- Dewi D. dan Slamet A. *Pemanfaatan Kayu Apu (Pistia stratiotes L.) Untuk Menurunkan Konsentrasi Cu⁺⁺*, Jurnal Purifikasi Vol. 2.
- Holm, L. G. D. L. 2001. Plucknett, J. V. Pancho and J. P. Herberger, 1977. *World Worst Weeds. Distribution and Biologi*. Publ. For East-West Center by The Univ. Press of Hawaii.
- Lingga, P. 1986. *Petunjuk penggunaan pupuk*. Penebar Swadaya Jakarta.
- Martianto, L. A. 2001. *Tumbuhan Air*. Agro Media Pustaka. Jakarta.
- Moenandir, J. dan Irawan, 1993. *Peranan Eceng Gondok Dan Kangkung Air Pada peningkatan Mutu Air Limbah*. Agrivita Vol. 16.
- Moenandir, J. 1997. *Ilmu Gulma, Buku III*. Karya Cipta Surabaya.
- Niang, S. 1999. *Wastewater Treatment Using Water Lettuce for Reuse in Market Garden (Dakar)*.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran Dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta Bandung.
- Santoso S., 2001. *SPSS Versi 10 Mengolah Data Secara Profesional*. PT. Alex Kompotindo, Jakarta
- Slamet A. dan Masduqi A., 2000. *Satuan Proses*. ITS Surabaya.
- Sugiharto, 1987. *Dasar – Dasar Pengolahan Air Limbah*. UI Press. Jakarta.

- Suhendrayatna. 2001 *Heavy Metal Bioremoval By Microorganisms*. ISTECS Chapter Japan.
- Sukman, Y. dan Yakup, 1995. *Gulma Dan Teknik Pengendaliannya*. PT. Raja Grafindo. Jakarta.
- Suriawiria, U., 1980. *Pengantar Mikrobiologi Umum*. Angkasa Bandung.
- Yarnest, 2003. *Panduan Aplikasi Statistik Dengan Menggunakan SPSS Versi 11*. Dioma, Malang
- Yuniasih, E. 2003. *Pemanfaatan Eceng Gondok dan Kayu Apu sebagai Biofilter Pengolahan Limbah Biji Kopi*. F. Pertanian Unibraw.

LAMPIRAN

METODE ANALISA KROM DAN BOD

METODE ANALISA KROM

PERALATAN

- a. Spektrofotometer
- b. Kertas saring berpori 0,45 μm
- c. Alat penyaring yang dilengkapi dengan pompa vakum
- d. Labu ukur 10; 100 dan 200
- e. Pipet volume 1; 2; 10; 25 dan 50 ml
- f. Micro pipet skala 100 – 100 μl

BAHAN PENUNJANG UJI

- a. Larutan tok Krom Val 6
- b. Larutan Diphenyl Carbaziede
- c. HNO_3 pekat
- d. H_3PO_4
- e. Larutan H_2SO_4 0,2 N

PERSIAPAN KALIBRASI STANDART

- a. Pipet 2 ml larutan stok krom val 6 (100 mg Cr^{6+} /l dan masukkan dalam labu ukur 200 ml
- b. Tambahkan air suling sampai tanda batas, larutan ini mengandung 1 mg Cr^{6+} /l
- c. Pipet 1; 5; 10; 25; dan 50 ml larutan krom val 6 yang mengandung mg Cr^{6+} /l masukkan ke dalam labu ukur 100 ml
- d. Tambahkan air suling sampai tanda batas, sehingga diperoleh konsentrasi krom val 6 0,01; 0,05; 0,1; 0,25; dan 0,50 mg Cr^{6+} /l
- e. Masukkan 10 ml larutan standart krom val 6 konsentrasi (0,01; 0,05; 0,1; 0,25; dan 0,50 mg Cr^{6+} /l) dan blangko ke dalam labu ukur
- f. Gunakan air suling untuk blangko
- g. Tambahkan 0,025 ml H_3PO_4 pekat dan atur ph larutan standart dan blangko menjadi ph $1,0 \pm 0,3$ dengan larutan H_2SO_4
- h. Tambahkan 0,2 ml larutan diphenyl carbaziede lalu dikocok dan dibiarkan selama 5 – 10 menit
- i. Masukkan larutan kuvet (10 mm), baca serapan pada spektrofotometer panjang gelombang 540 nm (pengoperasian spektrofotometer mengacu pada instruksi kerja pengoperasian dan pemeliharaan alat UV- Visible Spektrofotometer Shimadzu 1601 No. Dok. QI/LKA/28)
- j. Kemudian buat kurva kalibrasinya dengan persyaratan seperti pada prosedur metode analisa, Verifikasi Dan Validasi Metode No. Dok. QP/LKA/15

- k. Ulangi pembuatan kurva kalibrasi pada waktu tertentu misalnya jika hasil cek standart tidak memenuhi persyaratan seperti pada prosedur metode analisa, Verifikasi Dan Validasi Metode No. Dok. QP/LKA/15

PELAKSANAAN ANALISA

- a. Saring contoh uji dengan kertas saring yang berpori $0,45 \mu\text{m}$
- b. Masukkan contoh uji (filtrat), larutan standart yang telah diketahui konsentrasinya dan air suling (untuk blangko) sebanyak 10 ml untuk labu ukur 10 ml, setiap analisa lakukan juga duplo minimal satu untuk salah satu contoh uji dan lakukan jga cek standart minimal satu untuk setiap 10 contoh uji
- c. Tambahkan $0,025 \text{ ml H}_3\text{PO}_4$ pekat dan atur ph contoh uji, larutan standart dan blangko menjadi $\text{ph } 1,0 \pm 0,3$ dengan larutan H_2SO_4 $0,2 \text{ N}$
- d. Kemudian tambahkan $0,2 \text{ ml}$ larutan diphenyl carbaziede lalu dikocok dan dibiarkan selama 5 – 10 menit
- e. Masukkan kedalam kuvet (10 mm), baca serapan pada spektrofotometer panjang gelombang 540 nm
- f. Catat konsentrasi hasil analisa cek standart dan contoh uji air dengan satuan mg/l

METODE ANALISA BOD (Biological Oxygen Demand)

PELAKSANAAN ANALISA

Penyediaan Air Pengencer

Persiapan Blanko

- a. Masukkan air pengencer kedalam botol inkubasi yang bervolume 100 ml sampai penuh
- b. Tentukan konsentrasi DO dengan DO meter sebagai DO 0 hari kemudian catat hasil pembacaannya
- c. Setelah selesai tambahkan air pengencer hingga penuh (meluber) kemudian tutup dengan hati – hati supaya tidak terjadi gelembung udara
- d. Masukkan botol inkubasi yang telah selesai dianalisa ke dalam inkubator pada suhu $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 5 hari
- e. Setelah lima hari keluarkan botol inkubasi dari indikator kemudian biarkan pada suhu kamar.
- f. Baca DO nya dengan DO meter sebagai DO 5 hari kemudian catat hasil pembacaannya

ANALIA CONTOH UJI

- a. Encerkan contoh uji yang telah dinetralkan terlebih dahulu agar dalam pembacaan 5 hari DO nya tidak 0 mg/l.
- b. Masukkan sejumlah volume contoh uji air kedalam gelas ukur 250 ml (volume contoh uji tergantung dari pengencernya). Tambahkan air sebagai pengencer sampai 150 ml
- c. Aduk hingga homogen, setelah homogen tuangkan dalam botol inkubasi yang bervolume 100 ml sampai penuh.
- d. Baca DO nya dengan DO meter sebagai DO 0 hari kemudian catat hasil pembacaannya
- e. Setelah selesai dibaca tambahkan sisa sampel yang telah diencerkan tadi hingga penuh (meluber) kemudian tutup dengan hati – hati supaya tidak terjadi gelembung udara.
- f. Masukkan botol inkubasi yang telah selesai dianalisa kedalam inkubator $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 5 hari
- g. Setelah 5 hari keluarkan botol inkubasi dari inkubator kemudian biarkan hingga mencapai suhu kamar
- h. Baca DO nya dengan DO meter sebagai DO 5 hari kemudian catat hasil pembacaannya
- i. Lakukan juga analisa larutan standart sebagai sampel untuk cek standart setiap analisa dan setiap 10 pengujian contoh uji, serta pengujian duplo seperti pengujian terhadap contoh uji.

PERHITUNGAN

Hitung kadar BOD dengan menggunakan rumus berikut :

- a. Contoh uji yang diencerkan tanpa seed

$$\text{BOD mg/l} = \frac{DO_0 - DO_5}{P}$$

- b. Contoh uji yang diencerkan dengan seed

$$\text{BOD mg/l} = \frac{(DO_0 - DO_5) - (DO_{0\text{Blk}} - DO_{5\text{Blk}})F}{P}$$

Keterangan :

- DO_0 : DO sebelum inkubasi, mg/l
- DO_5 : DO contoh setelah inkubasi 5 hari 20 °C , mg/l
- $DO_{0\text{Blk}}$: DO blanko sebelum inkubasi, mg/l
- $DO_{5\text{Blk}}$: DO blanko setelah inkubasi 5 hari 20 °C , mg/l
- P : decimal factor pengenceran
- F : perbandingan seed dengan contoh uji dengan seed dalam blanko

LAMPIRAN

HASIL ANALISA KROM DAN BOD

Tabel Analisa Awal Konsentrasi Krom Dan BOD (mg/l)

No	Parameter	Konsentrasi (mg/l)			
		Uji			Rata-rata
		I	II	III	
1	Krom (Cr)	590.02	582.44	604.36	592.2733
2	BOD	771.45	758.59	752.89	760.9767

Tabel Analisa 4 Hari Ke I Krom Dan BOD (mg/l)

No	Variasi Perlakuan	Parameter Uji							
		Kadar Krom Akhir				Nilai BOD Akhir			
		I	II	III	Rata-rata	I	II	III	Rata-rata
1	OK	575.76	582.39	577.32	578.49	716.44	714.16	715.34	715.31
2	OK A5N5	524.22	531.34	536.3	530.62	651.24	655.16	654.90	653.77
3	OK A5N10	517.41	515.80	516.41	516.54	645.80	648.55	650.23	648.19
4	OK A5N15	513.10	514.90	513.43	513.81	666.94	631.52	645.58	648.01
5	OK A10N5	523.68	530.10	523.61	525.80	614.97	617.25	622.43	618.22
6	OK A10N10	512.17	513.70	514.70	513.52	615.44	617.12	615.27	615.94
7	OK A10N15	500.80	498.56	486.85	495.40	611.63	620.36	609.52	613.84
8	OK A15N5	521.11	518.90	522.05	520.69	605.41	609.99	608.33	607.91
9	OK A15N10	510.38	503.79	511.03	508.40	600.80	595.12	594.39	596.77
10	OK A15N15	485.18	501.33	492.61	493.04	590.86	588.53	593.45	590.95

Tabel Analisa 4 Hari Ke II Krom Dan BOD (mg/L)

No	Variasi Perlakuan	Parameter Uji							
		Kadar Krom Akhir				Nilai BOD Akhir			
		I	II	III	Rata-rata	I	II	III	Rata-rata
1	OK	456.38	467.33	458.11	460.61	476.82	481.57	483.19	480.53
2	OK A5N5	371.25	377.09	374.19	374.18	353.17	348.2	350.18	350.52
3	OK A5N10	357.19	360.14	364.01	360.45	344.74	338.26	340.49	341.16
4	OK A5N15	330.29	327.59	345.07	334.32	338.94	335.62	339.46	338.01
5	OK A10N5	370.03	364.20	369.51	367.91	326.19	328.77	331.47	328.81
6	OK A10N10	346.16	345.04	334.15	341.78	325.26	322.96	320.11	322.78
7	OK A10N15	322.49	324.55	327.42	324.82	315.47	316.8	318.08	316.78
8	OK A15N5	359.80	361.12	364.37	361.76	267.94	269.2	263.14	266.76
9	OK A15N10	336.68	332.73	338.1	335.84	253.69	250.27	257.21	253.72
10	OK A15N15	318.24	318.58	321.09	319.30	245.11	248.09	246.89	246.70

Tabel Analisa 4 Hari Ke III Krom Dan BOD (mg/l)

No	Variasi Perlakuan	Parameter Uji							
		Kadar Krom Akhir				Nilai BOD Akhir			
		I	II	III	Rata-rata	I	II	III	Rata-rata
1	OK	423.33	429.1	425.49	425.97	437.19	451.08	425.82	438.03
2	OK A5N5	264.42	261.08	263.11	262.87	278.16	280.63	277.48	278.76
3	OK A5N10	259.69	261.46	258.13	259.76	263.41	259.57	266.35	263.11
4	OK A5N15	233.43	236.55	235.98	235.32	248.06	251.28	254.02	251.12
5	OK A10N5	250.71	249.33	254.12	251.39	225.93	223.47	227.18	225.53
6	OK A10N10	227.81	230.24	234.18	230.74	219.46	216.35	219.29	218.37
7	OK A10N15	209.19	211.11	207.61	209.30	210.99	215.10	212.15	212.75
8	OK A15N5	230.26	225.69	228.15	228.03	189.39	191.20	193.45	191.35
9	OK A15N10	197.82	212.43	197.37	202.54	178.07	176.39	180.49	178.32
10	OK A15N15	178.05	171.66	176.18	175.30	171.29	169.2	172.16	170.88

LAMPIRAN

HASIL UJI STATISTIK

Hasil Uji Anova Variasi Perlakuan Terhadap Prosentase Removal Krom (Cr) Untuk t = 4 Hari

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: prosentase removal

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	438,322 ^a	9	48,702	82,889	,000
Intercept	4512,545	1	4512,545	7680,115	,000
UJI	438,322	9	48,702	82,889	,000
Error	11,751	20	,588		
Total	4962,618	30			
Corrected Total	450,073	29			

a. R Squared = ,974 (Adjusted R Squared = ,962)

Hasil uji Post Hoc Test dalam Homogeneous Subset

prosentase removal

Duncan ^{a,b}

UJI	N	Subset					
		1	2	3	4	5	6
ok	3	2,3266					
oka5n5	3		10,4091				
oka10n5	3		11,2235	11,2235			
oka15n5	3			12,0863	12,0863		
oka5n10	3				12,7864	12,7864	
oka5n15	3				13,2473	13,2473	
oka10n10	3				13,2957	13,2957	
oka15n10	3					14,1608	
oka10n15	3						16,3552
oka15n15	3						16,7542
Sig.		1,000	,208	,183	,090	,056	,531

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,588.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

Hasil Uji Anova Variasi Perlakuan Terhadap Prosentase Removal Krom (Cr) Untuk t = 8 Hari

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: prosentase removal

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1267,583 ^a	9	140,843	224,901	,000
Intercept	46898,252	1	46898,252	74888,290	,000
UJI	1267,583	9	140,843	224,901	,000
Error	12,525	20	,626		
Total	48178,360	30			
Corrected Total	1280,108	29			

a. R Squared = ,990 (Adjusted R Squared = ,986)

Hasil uji Post Hoc Test dalam Homogeneous Subset

prosentase removal

Duncan ^{a,b}

UJI	N	Subset				
		1	2	3	4	5
ok	3	22,2303				
oka5n5	3		36,8233			
oka10n5	3		37,8808	37,8808		
oka15n5	3			38,9192		
oka5n10	3			39,1415		
oka10n10	3				42,2926	
oka15n10	3				43,2967	
oka5n15	3				43,5533	
oka10n15	3					45,1568
oka15n15	3					46,0882
Sig.		1,000	,117	,078	,078	,165

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,626.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

Hasil Uji Anova Variasi Perlakuan Terhadap Prosentase Removal Krom (Cr) Untuk t = 12 Hari

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: PROSENTASE REMOVAL

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3570,773 ^a	9	396,753	1106,430	,000
Intercept	101290,940	1	101290,940	282471,5	,000
UJI	3570,773	9	396,753	1106,430	,000
Error	7,172	20	,359		
Total	104868,885	30			
Corrected Total	3577,944	29			

a. R Squared = ,998 (Adjusted R Squared = ,997)

Hasil uji Post Hoc Test dalam Homogeneous Subset

PROSENTASE REMOVAL

Duncan^{a,b}

UJI	N	Subset							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ok	3	28,0778							
oka5n5	3		55,6165						
oka5n10	3		56,1416						
oka10n5	3			57,5554					
oka5n15	3				60,2681				
oka10n10	3				61,0409	61,0409			
oka15n5	3					61,4984			
oka10n15	3						64,6608		
oka15n10	3							65,8028	
oka15n15	3								70,4026
Sig.		1,000	,296	1,000	,130	,361	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,359.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

Korelasi Antara % Removal Krom Dengan Kelompok Variasi Aerasi Dan Nutrisi Dengan Lama Perlakuan 4 Hari

Correlations

		% Removal	Variasi Aerasi	Variasi Nutrisi
% Removal	Pearson Correlation	1.000	.706*	.868**
	Sig. (2-tailed)	.	.023	.001
	N	10	10	10
Kombinasi I	Pearson Correlation	.706*	1.000	.375
	Sig. (2-tailed)	.023	.	.286
	N	10	10	10
Kombinasi II	Pearson Correlation	.868**	.375	1.000
	Sig. (2-tailed)	.001	.286	.
	N	10	10	10

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

**Korelasi Antara % Removal Krom Dengan Kelompok Variasi
Aerasi Dan Nutrisi Dengan Lama Perlakuan 8 Hari**

Correlations

		prosentase removal	Variasi Aerasi	Variasi Nutrisi
prosentase removal	Pearson Correlation	1.000	.682*	.876**
	Sig. (2-tailed)	.	.030	.001
	N	10	10	10
aerasi	Pearson Correlation	.682*	1.000	.375
	Sig. (2-tailed)	.030	.	.286
	N	10	10	10
nutrisi	Pearson Correlation	.876**	.375	1.000
	Sig. (2-tailed)	.001	.286	.
	N	10	10	10

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

**Korelasi Antara % Removal Krom Dengan Kelompok Variasi
Aerasi Dan Nutrisi Dengan Lama Perlakuan 12 Hari**

Correlations

		prosentase removal	Variasi Aerasi	Variasi Nutrisi
prosentase removal	Pearson Correlation	1.000	.802**	.755*
	Sig. (2-tailed)	.	.005	.012
	N	10	10	10
aerasi	Pearson Correlation	.802**	1.000	.375
	Sig. (2-tailed)	.005	.	.286
	N	10	10	10
nutrisi	Pearson Correlation	.755*	.375	1.000
	Sig. (2-tailed)	.012	.286	.
	N	10	10	10

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Regresi Berdasarkan Lama Perlakuan 4 Hari Nilai Adjusted Square

Model Summary ^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.960 ^a	.922	.900	1.2766

a. Predictors: (Constant), Perlakuan Nutrisi, Perlakuan Aerasi

b. Lama Perlakuan = 4 hari

ANOVA ^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	134.652	2	67.326	41.310	.000 ^a
	Residual	11.408	7	1.630		
	Total	146.060	9			

a. Predictors: (Constant), Kombinasi II, Kombinasi I

b. Dependent Variable: % Removal

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	4.230	.981		4.310	.004
	Perlakuan Aerasi	1.725	.444	.442	3.881	.006
	Perlakuan Nutrisi	2.740	.444	.702	6.164	.000

a. Dependent Variable: Prosentase Removal

b. Lama Perlakuan = 4 hari

Regresi Berdasarkan Lama Perlakuan 8 Hari Nilai Adjusted Square

Model Summary ^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.955 ^a	.912	.887	2.2987

a. Predictors: (Constant), Perlakuan Nutrisi, Perlakuan Aerasi

b. Lama Perlakuan = 8 hari

ANOVA ^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	385.614	2	192.807	36.489	.000 ^a
	Residual	36.988	7	5.284		
	Total	422.602	9			

a. Predictors: (Constant), nutrisi, aerasi

b. Dependent Variable: prosentase removal

Coefficients ^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	26.009	1.767		14.719	.000
	Perlakuan Aerasi	2.726	.800	.411	3.407	.011
	Perlakuan Nutrisi	4.790	.800	.722	5.985	.001

a. Dependent Variable: Prosentase Removal

b. Lama Perlakuan = 8 hari

Regresi Berdasarkan Lama Perlakuan 12 Hari Nilai Adjusted Square

Model Summary ^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.940 ^a	.883	.850	4.4518

a. Predictors: (Constant), Perlakuan Nutrisi, Perlakuan Aerasi

b. Lama Perlakuan = 12 hari

ANOVA ^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1051.277	2	525.639	26.522	.001 ^a
	Residual	138.732	7	19.819		
	Total	1190.010	9			

a. Predictors: (Constant), nutrisi, aerasi

b. Dependent Variable: prosentase removal

Coefficients ^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	35.412	3.422		10.348	.000
	Perlakuan Aerasi	6.722	1.550	.604	4.337	.003
	Perlakuan Nutrisi	5.886	1.550	.529	3.797	.007

a. Dependent Variable: Prosentase Removal

b. Lama Perlakuan = 12 hari

Hasil Uji Anova Variasi Perlakuan Terhadap Penurunan Nilai BOD Untuk t = 4 Hari

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: penurunan BOD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	36617,436 ^a	9	4068,604	101,303	,000
Intercept	507616,387	1	507616,387	12639,002	,000
UJI	36617,436	9	4068,604	101,303	,000
Error	803,254	20	40,163		
Total	545037,077	30			
Corrected Total	37420,690	29			

a. R Squared = ,979 (Adjusted R Squared = ,969)

Hasil uji Post Hoc Test dalam Homogeneous Subset

penurunan BOD

Duncan ^{a,b}

UJI	N	Subset			
		1	2	3	4
ok	3	45,6567			
oka5n5	3		107,2033		
oka5n10	3		112,7767		
oka5n15	3		112,9567		
oka10n5	3			142,7533	
oka10n10	3			145,0267	
oka10n15	3			147,1333	
oka15n5	3			153,0600	
oka15n10	3				164,2000
oka15n15	3				170,0233
Sig.		1,000	,306	,081	,274

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 40,163.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

Hasil Uji Anova Variasi Perlakuan Terhadap Penurunan Nilai BOD Untuk t = 8 Hari

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: penurunan BOD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	119876,766 ^a	9	13319,641	1843,723	,000
Intercept	5713182,969	1	5713182,969	790826,8	,000
UJI	119876,766	9	13319,641	1843,723	,000
Error	144,486	20	7,224		
Total	5833204,221	30			
Corrected Total	120021,252	29			

a. R Squared = ,999 (Adjusted R Squared = ,998)

Hasil uji Post Hoc Test dalam Homogeneous Subset

penurunan BOD

Duncan^{a,b}

UJI	N	Subset								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
ok	3	280,4433								
oka5n5	3		410,4533							
oka5n10	3			419,8067						
oka5n15	3			422,9633						
oka10n5	3				432,1600					
oka10n10	3					438,1933				
oka10n15	3						444,1867			
oka15n5	3							494,2100		
oka15n10	3								507,2467	
oka15n15	3									514,2733
Sig.		1,000	1,000	,166	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 7,224.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

Hasil Uji Anova Variasi Perlakuan Terhadap Penurunan Nilai BOD Untuk t = 12 Hari

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: penurunan BOD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	160996,382 ^a	9	17888,487	872,341	,000
Intercept	8054372,312	1	8054372,312	392775,4	,000
UJI	160996,382	9	17888,487	872,341	,000
Error	410,126	20	20,506		
Total	8215778,820	30			
Corrected Total	161406,508	29			

a. R Squared = ,997 (Adjusted R Squared = ,996)

Hasil uji Post Hoc Test dalam Homogeneous Subset

penurunan BOD

Duncan^{a,b}

UJI	N	Subset							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ok	3	322,9400							
oka5n5	3		482,2133						
oka5n10	3			497,8600					
oka5n15	3				509,8500				
oka10n5	3					535,4433			
oka10n10	3					542,6033	542,6033		
oka10n15	3						548,2233		
oka15n5	3							569,6233	
oka15n10	3								582,6533
oka15n15	3								590,0867
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	,067	,144	1,000	,058

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 20,506.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

Korelasi Antara Penurunan Nilai BOD Dengan Kelompok Variasi Aerasi Dan Nutrisi Untuk t = 4 Hari

Correlations

		PENURUNAN BOD	AERASI	NUTRISI
PENURUNAN BOD	Pearson Correlation	1	,944**	,572
	Sig. (2-tailed)	.	,000	,084
	N	10	10	10
AERASI	Pearson Correlation	,944**	1	,375
	Sig. (2-tailed)	,000	.	,286
	N	10	10	10
NUTRISI	Pearson Correlation	,572	,375	1
	Sig. (2-tailed)	,084	,286	.
	N	10	10	10

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Korelasi Antara Penurunan Nilai BOD Dengan Kelompok Variasi Aerasi Dan Nutrisi Untuk t = 8 Hari

Correlations

		PENURUNAN BOD	AERASI	NUTRISI
PENURUNAN BOD	Pearson Correlation	1	,927**	,576
	Sig. (2-tailed)	,	,000	,082
	N	10	10	10
AERASI	Pearson Correlation	,927**	1	,375
	Sig. (2-tailed)	,000	,	,286
	N	10	10	10
NUTRISI	Pearson Correlation	,576	,375	1
	Sig. (2-tailed)	,082	,286	,
	N	10	10	10

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Korelasi Antara Penurunan Nilai BOD Dengan Kelompok Variasi Aerasi Dan Nutrisi Untuk t = 12 Hari

Correlations

		PENURUNAN BOD	AERASI	NUTRISI
PENURUNAN BOD	Pearson Correlation	1	,896**	,629
	Sig. (2-tailed)	,	,000	,051
	N	10	10	10
AERASI	Pearson Correlation	,896**	1	,375
	Sig. (2-tailed)	,000	,	,286
	N	10	10	10
NUTRISI	Pearson Correlation	,629	,375	1
	Sig. (2-tailed)	,051	,286	,
	N	10	10	10

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Regresi Berdasarkan Lama Perlakuan 4 Hari Nilai Adjusted Square

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,973 ^a	,947	,932	9,62148

a. Predictors: (Constant), NUTRISI, AERASI

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	11556,798	2	5778,399	62,420	,000 ^a
	Residual	648,010	7	92,573		
	Total	12204,807	9			

a. Predictors: (Constant), NUTRISI, AERASI

b. Dependent Variable: PENURUNAN BOD

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	59,290	7,396		8,016	,000
	AERASI	30,267	3,350	,849	9,035	,000
	NUTRISI	9,060	3,350	,254	2,705	,030

a. Dependent Variable: PENURUNAN BOD

**Regresi Berdasarkan Lama Perlakuan 8 Hari
Nilai Adjusted Square**

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,959 ^a	,921	,898	21,30288

a. Predictors: (Constant), NUTRISI, AEARSI

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	36783,419	2	18391,709	40,527	,000 ^a
	Residual	3176,688	7	453,813		
	Total	39960,107	9			

a. Predictors: (Constant), NUTRISI, AEARSI

b. Dependent Variable: PENURUNAN BOD

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	309,449	16,376		18,897	,000
	AEARSI	53,421	7,417	,828	7,203	,000
	NUTRISI	17,103	7,417	,265	2,306	,055

a. Dependent Variable: PENURUNAN BOD

Regresi Berdasarkan Lama Perlakuan 12 Hari Nilai Adjusted Square

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,950 ^a	,902	,874	27,41008

a. Predictors: (Constant), NUTRISI, AERASI

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	48405,741	2	24202,871	32,214	,000 ^a
	Residual	5259,187	7	751,312		
	Total	53664,928	9			

a. Predictors: (Constant), NUTRISI, AERASI

b. Dependent Variable: PENURUNAN BOD

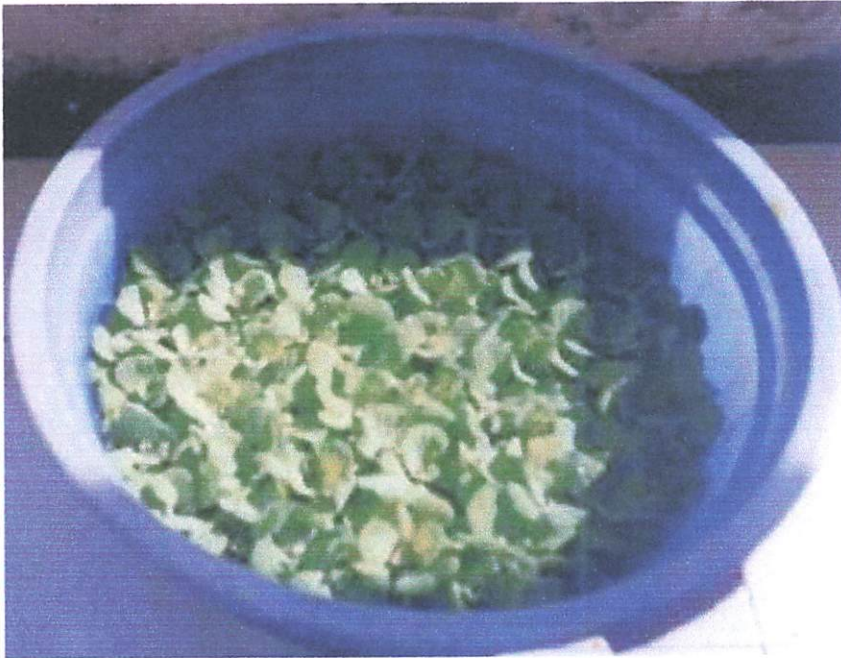
Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	368,944	21,070		17,510	,000
	AERASI	57,408	9,543	,768	6,016	,001
	NUTRISI	25,483	9,543	,341	2,670	,032

a. Dependent Variable: PENURUNAN BOD

LAMPIRAN

DOKUMENTASI



PROSES PENGEMBANGBIAKAN KAYU PAU



PENGAMATAN KAYU APU 4 HARI



PENGAMATAN KAYUAPU 8 HARI



PENGAMATAN KAYU APU 12 HARI



PENGAMATAN KAYU APU 12 HARI



PENGAMATAN WARNA LIMBAH