

**EFEKTIFITAS FITOREMEDIASI, WETLAND, DAN TANAH
DALAM MENINGKATKAN KUALITAS LIMBAH CAIR
PABRIK PENYAMAKAN KULIT**

Oleh:

SRI UTAMI ENDROWATI



PROGRAM STUDI ILMU TANAH

JURUSAN TANAH

FAKULTAS PERTANIAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2010

**EFEKTIFITAS FITOREMEDIASI, WETLAND, DAN TANAH
DALAM MENINGKATKAN KUALITAS LIMBAH CAIR
PABRIK PENYAMAKAN KULIT**

Oleh:

SRI UTAMI ENDROWATI

0410430049-43



SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana
Pertanian Strata Satu (S-1)**

PROGRAM STUDI ILMU TANAH

JURUSAN TANAH

FAKULTAS PERTANIAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2010

RINGKASAN

Sri Utami Endrowati. 0410430049-43. **Efektifitas Fitoremediasi, Wetland Dan Tanah Dalam Meningkatkan Kualitas Limbah Cair Pabrik Penyamakan Kulit.** Di bawah bimbingan: Didik Suprayogo dan Yulia Nuraini

Aktivitas industri yang meningkat mengakibatkan meningkatnya limbah, meningkatnya limbah diikuti dengan meningkatnya tingkat resiko pencemaran pada perairan, udara dan tanah. Dari ketiga macam limbah yang dihasilkan pada proses penyamakan kulit yaitu limbah padat, cair dan gas, limbah cair merupakan limbah yang paling membahayakan lingkungan karena banyak mengandung natrium. Limbah harus diolah dahulu sebelum dibuang agar tidak menimbulkan pencemaran. Akhir-akhir ini penggunaan tanaman sebagai agen pembersih lingkungan tercemar banyak dibicarakan. Penggunaan tanaman untuk menghilangkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik disebut fitoremediasi. Metode wetland menggunakan gabungan proses fisika dan biologi. Selain wetland, tanah juga berpotensi sanitasi lingkungan.

Tujuan dari penelitian adalah menguji kemampuan teknologi pengolah limbah dalam meningkatkan kualitas limbah cair dan mengevaluasi efektivitas pengolahan limbah dari Instalasi Pengolah Limbah (IPAL) dibanding dengan teknologi pengolah limbah dengan fitoremediasi, wetland dan tanah.

Penelitian ini dilaksanakan di pabrik penyamakan kulit PT. Kasin Malang mulai bulan Januari 2009 sampai April 2009. Rancangan percobaan yang digunakan yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL) sederhana yang terdiri dari 6 macam perlakuan dengan 3 kali ulangan yaitu L: limbah cair penyamakan kulit (kontrol), R: Limbah + Fitoremediasi (*Cyperus alternifolius*), K: Limbah + Kerikil, KR: Limbah + Wetland (Kerikil + Fitoremediasi), T: Limbah + Tanah, TR: Limbah + Tanah + Fitoremediasi. Parameter yang diamati yaitu pH, Na, SAR, TDS, DHL, COD dan BOD. Waktu pengamatan untuk semua parameter yaitu setiap 18 hari sekali. Data yang diperoleh dianalisa menggunakan analisis varian dengan taraf nyata ($F=5\%$) untuk melihat pengaruh antar perlakuan. Bila terdapat pengaruh antar perlakuan dilanjutkan dengan uji Duncan pada taraf 5%. Untuk mengetahui hubungan antar variabel digunakan uji korelasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa fitoremediasi yang menggunakan tanaman *Cyperus alternifolius* lebih efektif menurunkan nilai Na, SAR, TDS, DHL, COD dan BOD daripada remediasi yang menggunakan media padat (kerikil dan tanah) pada 90 hari setelah remediasi. Hasil remediasi terbaik terdapat pada remediasi wetland (kombinasi media kerikil dengan tanaman *Cyperus alternifolius*) mampu menurunkan nilai pH (10,72%), Na (64,07%), SAR (59,40%), TDS (56,82%), DHL (57,97%), COD (62,32%) dan BOD (59,69%) pada 90 hari setelah remediasi. Remediasi wetland (kombinasi media kerikil dengan tanaman *Cyperus alternifolius*) dalam penelitian lebih baik dari IPAL (Instalasi Pengolah Air Limbah) pabrik pada semua parameter yaitu parameter pH, Na, SAR, TDS, DHL, COD dan BOD pada 90 hari setelah remediasi.

SUMMARY

Sri Utami Endrowati. 0410430049-43. **The Effectiveness of Fitoremediation, Wetland, and Soil on Increasing the Quality of Liquid Wastewater from Leather Tanning Industry.** Supervisors: (1) Didik Suprayogo (2) Yulia Nuraini

Industrial activities that increase waste quantity will lead to water, air and soil pollution. There are 3 types of waste produced by leather tanning industries, solid, liquid and gas but liquid waste is the most endangered waste since it contains a great number of Natrium. Wastewater need to be processed before be thrown to the environment in order to decrease pollution. Recently the use of plant as a polluted environment cleansing agent gets more attention. Using plant to eliminate organic or inorganic pollutants called fitoremediation. To reduce pollutants in environment we can also use wetland method and soil. Wetland method combining physical and biological process and we can use soil for environment sanitation.

The purposes of this research are to test the ability of wastewater process technology in increasing the quality of wastewater and to evaluate effectiveness of wastewater processing from wastewater process installation (IPAL = Instalasi Pengolahan Limbah) compared to wastewater process technology by fitoremediation, wetland, and soil.

This research was done in leather tanning factory PT. Kasin Malang, started in January 2009 until April 2009. This research use simple random design consists of 6 treatments with 3 repetitions each. The treatments are: L; leather tanning wastewater (control), R; wastewater + fitoremediation (*Cyperus alternifolius*), K; wastewater + gravel, KR; wastewater + wetland (gravel + fitoremediation), T; wastewater + soil, TR; wastewater + soil + fitoremediation. The parameters which observed are: acidity, Na, SAR, TDS, DHL, COD, and BOD. The observation was held once in every 18 days. The data obtained would be analyzed using variant analysis (F=5%) to know the influence between parameters. Duncan test in 5% standard was used if an influence occurs. Correlation test was used to know the relationship among parameters.

The results of this research showed that fitoremediation using *Cyperus alternifolius* was more effective in decrease the value of Na, SAR, TDS, DHL, COD, and BOD than remediation using solid media (gravel and soil) in 90 days after remediation. The best remediation result was the wetland remediation (combination of gravel and *Cyperus alternifolius*) which able to decrease acidity value (10,72%), Na (64,07%), SAR (59,40%), TDS (56,82%), DHL (57,97%), COD (62,32%), and BOD (59,69%) in 90 days after remediation. Wetland remediation (combination of gravel and *Cyperus alternifolius*) in research was better than IPAL's factory on every parameters acidity, Na, SAR, TDS, DHL, COD, and BOD in 90 days after remediation.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala nikmat dan hidayahNya yang diberikan pada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“EFEKTIFITAS FITOREMEDIASI, WETLAND DAN TANAH DALAM MENINGKATKAN KUALITAS LIMBAH CAIR PABRIK PENYAMAKAN KULIT”** yang diajukan sebagai tugas akhir dalam rangka menyelesaikan studi di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, MS selaku Ketua Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.
2. Ir. Didik Suprayogo, M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing pertama dan Ir. Yulia Nuraini, MS sebagai dosen pembimbing kedua.
3. Seluruh staff dan karyawan Jurusan Tanah atas segala kemudahan dalam menggunakan fasilitas jurusan selama penelitian dan menyelesaikan skripsi.
4. Pabrik penyamakan kulit PT.Kasin atas ijin penelitian dan sampel limbah yang diberikan.
5. Kedua orang tua dan semua keluarga atas segala doa, kasih sayang, bimbingan dan dukungan yang tak terhingga.
6. Seluruh teman-teman angkatan 2004 (Soiler'04) yang telah membantu dalam proses penelitian dan penulisan skripsi.
7. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang membantu dalam kelancaran penelitian dan penulisan skripsi.

Penulis sadar bahwa karya ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran penulis harapkan demi kesempurnaan tulisan ini. Penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Malang, Januari 2010

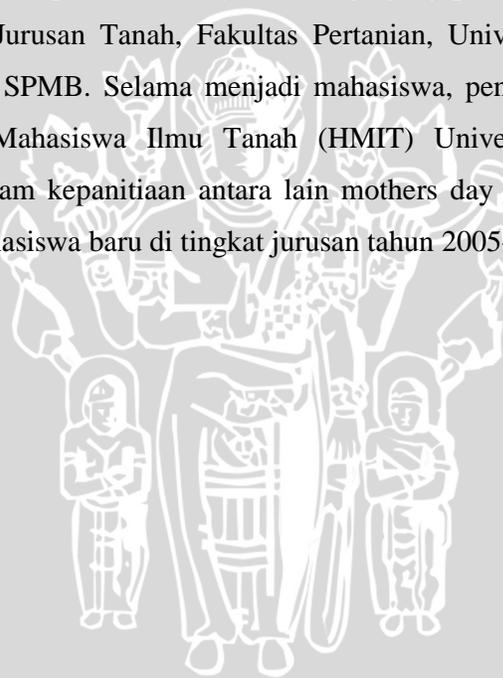
Penulis

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Pasuruan pada tanggal 18 Desember 1985 dan merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari keluarga Bapak Miskam dan Ibu Sri Wati.

Penulis memulai pendidikan dengan menjalani pendidikan dasar di SD Negeri Kedawung Kulon 1 (1992-1998), dan melanjutkan ke SLTP Negeri 1 Gratitunon (1998-2001), kemudian meneruskan ke SMU Negeri 4 Pasuruan (2001-2004).

Pada tahun 2004, penulis melanjutkan ke jenjang pendidikan perguruan tinggi Strata 1 (S1) Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya Malang melalui jalur SPMB. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Ilmu Tanah (HMIT) Universitas Brawijaya. Penulis juga aktif dalam kepanitiaan antara lain mothers day pada tahun 2004, kegiatan orientasi mahasiswa baru di tingkat jurusan tahun 2005-2006.



DAFTAR ISI

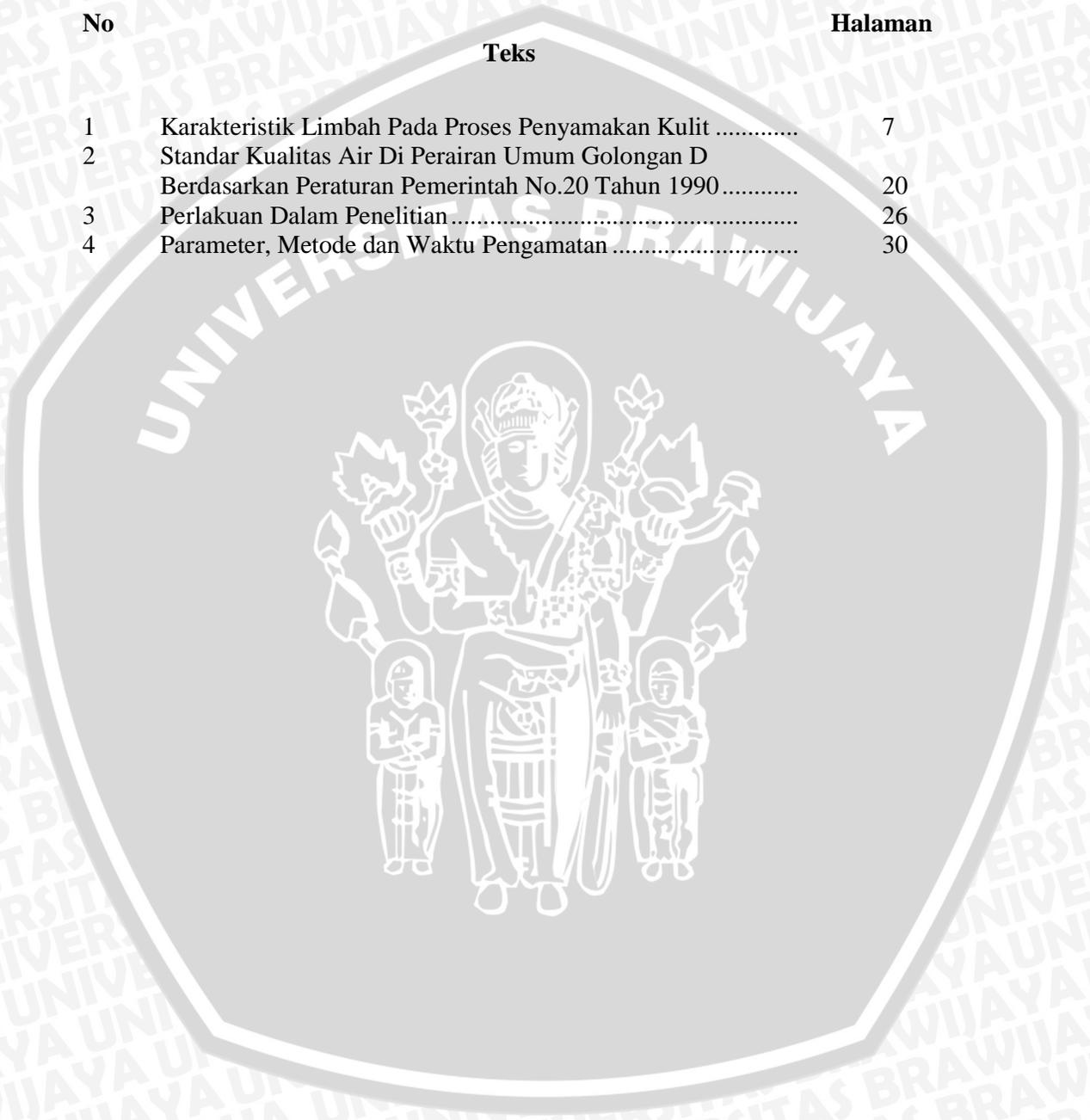
	Halaman
RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Hipotesis	3
1.4 Manfaat	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Limbah	5
2.2 Limbah Cair Penyamakan Kulit.....	5
2.3 Teknologi Pengolah Limbah.....	7
2.3.1 Pengolahan Secara Fisika.....	7
2.3.2 Pengolahan Secara Kimia	9
2.3.3 Pengolahan Secara Biologi	10
2.4 Proses Pengolahan Limbah Lainnya	13
2.4.1 Fitoremediasi.....	14
2.4.2 Wetland	17
2.4.3 Tanah.....	18
2.5 Parameter Kualitas Air.....	19
2.5.1 pH.....	20
2.5.2 Natrium Dan Sodium Absortion Ratio (SAR)	21
2.5.3 Zat Padat Terlarut (TDS)	21
2.5.4 Daya Hantar Listrik (DHL).....	22
2.5.5 Chemical Oxygen Demand (COD).....	22
2.5.6 Biologycal Oxygen Demand (BOD).....	23
III. METODE PENELITIAN	25
3.1 Waktu Dan Tempat	25
3.2 Alat Dan Bahan Penelitian	25
3.2.1 Alat.....	25
3.2.2 Bahan	25
3.3 Pelaksanaan Penelitian.....	25

3.4 Pengamatan dan Analisa Data	29
3.4.1 Pengamatan	29
3.4.2 Analisa Data	31
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Pengaruh Berbagai Remediasi Terhadap Kualitas Limbah Cair Pabrik Penyamakan Kulit	32
4.1.1 Nilai pH	32
4.1.2 Nilai Natrium (Na)	35
4.1.3 Nilai Sodium Absortion Ratio (SAR)	38
4.1.4 Nilai Total Dissolved Solution (TDS)	41
4.1.5 Nilai Daya Hantar Lstrik (DHL)	44
4.1.6 Nilai Chemical Oxygen Demand (COD)	47
4.1.7 Nilai Biological Oxygen Demand (BOD)	50
4.2 Hubungan Antar Parameter Kualitas Air Limbah	53
V. KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	60



DAFTAR TABEL

No	Teks	Halaman
1	Karakteristik Limbah Pada Proses Penyamakan Kulit	7
2	Standar Kualitas Air Di Perairan Umum Golongan D Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.20 Tahun 1990	20
3	Perlakuan Dalam Penelitian	26
4	Parameter, Metode dan Waktu Pengamatan	30



DAFTAR GAMBAR

No	Teks	Halaman
1	Skema Alur Pemikiran.....	4
2	Wadah yang digunakan dalam penelitian	27
3	Metode Aplikasi Perlakuan.....	28
4	Denah Percobaan.....	29
5	Grafik Perubahan Nilai pH Pada Berbagai Perlakuan	
	Remediasi.....	34
6	Grafik Perubahan Nilai Na Pada Berbagai Perlakuan	
	Remediasi.....	37
7	Grafik Perubahan Nilai SAR Pada Berbagai Perlakuan	
	Remediasi.....	40
8	Grafik Perubahan Nilai TDS Pada Berbagai Perlakuan	
	Remediasi.....	43
9	Grafik Perubahan Nilai DHL Pada Berbagai Perlakuan	
	Remediasi.....	46
10	Grafik Perubahan Nilai COD Pada Berbagai Perlakuan	
	Remediasi.....	49
11	Grafik Perubahan Nilai BOD Pada Berbagai Perlakuan	
	Remediasi.....	52



DAFTAR LAMPIRAN

No	Teks	Halaman
1	Hasil Analisa Dasar Tanah Dan Inlet Serta Outlet Limbah Cair Penyamakan Kulit.....	60
2	Perhitungan Ukuran Wadah Proses Pengolahan Limbah ...	62
3	Analisis Ragam (ANOVA) Kualitas Air Remediasi Limbah Penyamakan Kulit.....	63
4	Hasil Analisis Duncan.....	70
5	Korelasi Antar Parameter.....	73
6	Hasil Remediasi Dibanding IPAL dan Baku Mutu.....	73
7	Gambar Alat, Tanaman dan Perlakuan Remediasi	75



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berbagai usaha dilakukan pemerintah untuk meningkatkan taraf hidup serta kesejahteraan masyarakat, salah satunya yaitu dengan meningkatkan sektor industri baik berupa industri berat maupun ringan. Dengan munculnya industri-industri tersebut perlu dipikirkan juga efek sampingannya yaitu limbah. Meningkatnya aktivitas industri diikuti dengan meningkatnya limbah, meningkatnya limbah diikuti dengan meningkatnya tingkat resiko pencemaran pada perairan, udara dan tanah. Limbah yang dihasilkan dapat berupa limbah padat (*solid wastes*), limbah cair (*liquid wastes*), maupun limbah gas (*gaseous wastes*). Ketiga jenis limbah ini dapat dikeluarkan sekaligus oleh satu industri ataupun satu persatu sesuai dengan proses yang ada di perusahaannya (Sugiharto, 2005).

Salah satu dari industri yang berkembang di Indonesia yaitu industri penyamakan kulit. Santi (2004) menjelaskan bahwa proses industri penyamakan kulit bertujuan merubah kulit hewan menjadi lembaran-lembaran kulit jadi yang siap untuk dipergunakan menjadi bahan baku produk kulit seperti sepatu, tas, kerajinan, dan lain-lain. Limbah yang dihasilkan dari proses penyamakan kulit secara garis besar terdapat tiga bagian yaitu limbah cair, limbah padat dan limbah gas. Limbah cair berasal dari larutan yang digunakan unit pemrosesan itu sendiri yaitu perendaman sampai pewarnaan, bekas cuci tetesan serta tumpahan. Limbah padat berupa pangkasan kulit, bulu, daging dan lainnya. Sedangkan limbah gas berasal dari pemrosesan kulit serta dari kurang tepatnya pengolahan limbah padat dan cair.

Dari ke tiga macam limbah tersebut limbah cair merupakan limbah yang paling membahayakan lingkungan karena konsentrasi natrium (Na) yang melebihi baku mutu. Kehadiran natrium di perairan yang disesuaikan untuk irigasi adalah sebesar 60 mg/L. Jika air yang mengandung Na berlebih digunakan untuk irigasi maka ion Na akan menggantikan ion Ca dan Mg dalam tanah dan akan mengubah struktur tanah (Effendi, 2003). Sedangkan dalam perairan beberapa ikan air tawar

dapat menerima (toleran) kehadiran sejumlah kecil natrium dalam bentuk garam (Anonymous, 2003^c).

Penanganan yang dilakukan untuk mengolah limbah padat yaitu dengan menjual kembali limbah padat sebagai hasil sampingan. Sedangkan untuk limbah cair yang mengandung natrium secara umum dilakukan dengan mencampurnya dengan air. Secara skematis, alur permasalahan pencemaran dan penanggulangan natrium disajikan pada Gambar 1.

Teknologi pengolahan limbah cair adalah kunci dalam memelihara kelestarian lingkungan. Teknik-teknik pengolahan limbah cair yang telah dikembangkan secara umum terbagi menjadi tiga metode pengolahan yaitu pengolahan secara fisika, kimia dan biologi. Selain itu, akhir-akhir ini kemampuan tanaman dalam mengelola limbah marak dibicarakan. Beberapa tanaman air yang baik untuk digunakan dalam meremediasi zat organik, nutrisi atau logam-logam antara lain kangkung air (*Ipomoea reptans*), enceng gondok (*Eichornia crassipes*), kiambang (*Salvinia molesta*) (Moenandir dan Hidayat, 1993; Moenandir dan Irawan, 1993). Tanaman air lain seperti *Cyperus* (rumput payung) juga bisa digunakan untuk biofilter (Suriawiria, 2003). Beberapa penelitian menyebutkan bahwa tanaman rumput payung (*Cyperus alternifolius*) mampu menyerap limbah logam berat seperti Cu, Zn (Liao *et al.*, 2005) serta Mn (Cheng *et al.*, 2002). Dari uraian tersebut diketahui bahwa *Cyperus alternifolius* (rumput payung) mampu menyerap limbah logam berat, maka dapat diasumsikan bahwa Rumput payung juga dapat menyerap limbah natrium yang tingkat pencemarannya lebih kecil dibandingkan dengan logam berat.

Teknologi pengolah limbah yang menggunakan tanaman untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik disebut fitoremediasi (Priyanto, 2005). Wetland merupakan teknologi pengolah limbah dengan menggunakan konsep fitoremediasi. Metode wetland diterapkan di Tennessee, USA untuk membersihkan tanah dan air tanah yang mengandung bahan peledak, yaitu dengan mengalirkan air yang tercemar bahan peledak tersebut ke dalam kolam yang diberi media koral yang ditanami tumbuhan air. Selain metode wetland,

tanah juga bisa mengolah limbah melalui mekanisme alami. Dibalik potensi tanah sebagai wahana pencemaran badan-badan air, tanah berpotensi sebagai sanitasi lingkungan. Potensi ini berkaitan dengan kemampuan menyaring bahan pencemar berupa suspensi, kemampuan menjerap, menyekap dan mengkelat zat pencemar berupa ion terlarut, dan kemampuan detoksifikasi bahan pencemar organik. Daya detoksifikasi ditentukan oleh enzim-enzim yang dihasilkan oleh jasad-jasad renik (Notohadiprawiro, 2006).

Penelitian tentang kemampuan remediasi limbah cair penyamakan kulit belum banyak dilakukan, terutama yang menggunakan aplikasi tanaman, batu kerikil dan tanah. Hal inilah yang mendasari penulis untuk melaksanakan penelitian untuk mengetahui apakah *Cyperus alternifolius*, batu kerikil dan tanah mampu mengolah limbah cair penyamakan kulit.

1.2 Tujuan Penelitian

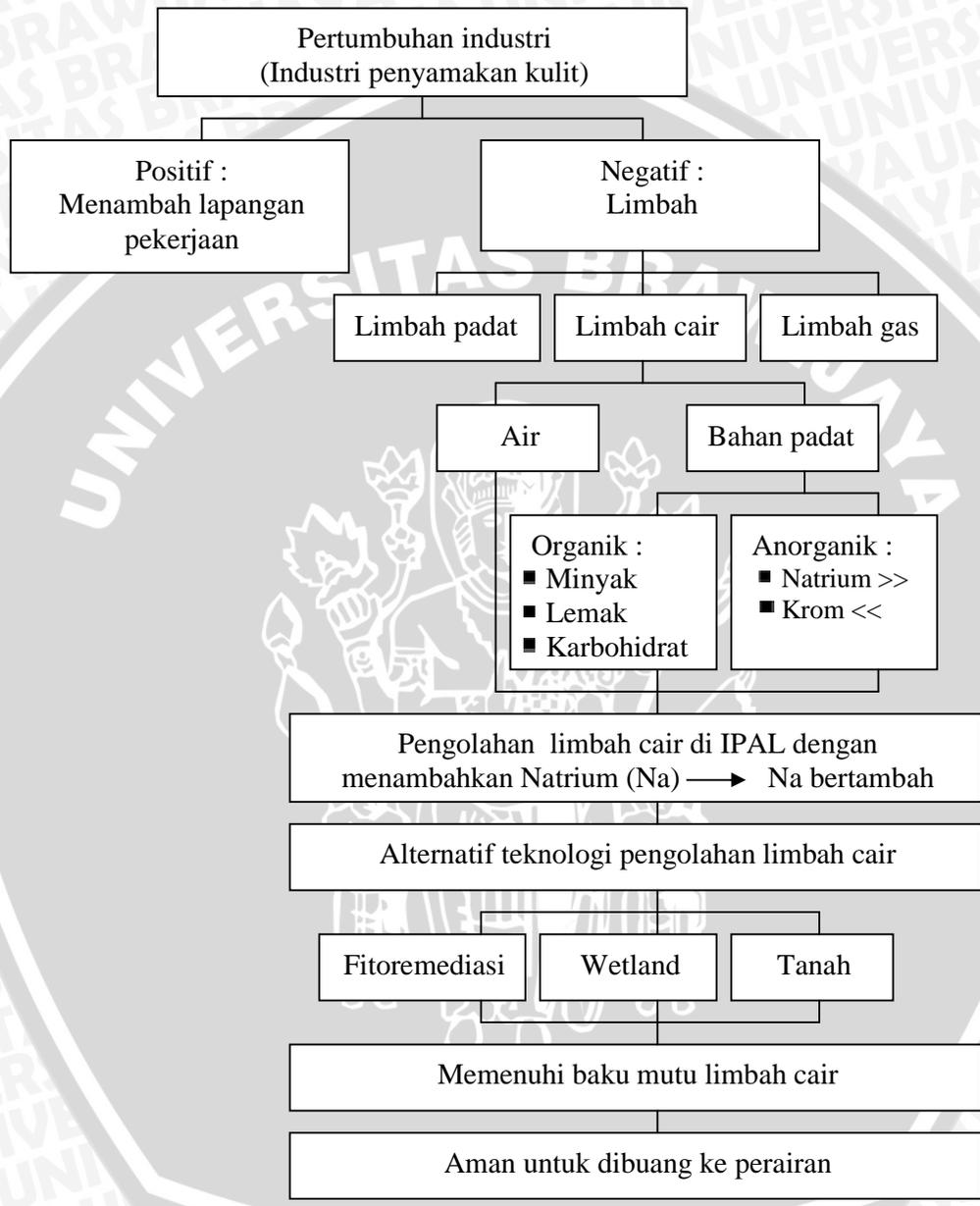
1. Menguji kemampuan teknologi pengolah limbah dalam meningkatkan kualitas limbah cair.
2. Mengevaluasi efektivitas pengolahan limbah dari Instalasi pengolah Limbah (IPAL) dibanding dengan fitoremediasi, wetland dan tanah.

1.3 Hipotesis

1. Kombinasi sistem perakaran tanaman dengan media padat berpengaruh positif dalam meremediasi limbah cair.
2. Pengolahan limbah cair dengan menggunakan tanaman lebih efektif dalam meremediasi limbah cair dibanding Instalasi Pengolah Limbah (IPAL).

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan nantinya dapat memberikan informasi tentang alternatif teknologi pengolah limbah cair sederhana yang dapat dibuat sendiri sebagai usaha dalam pengurangan pencemaran air limbah serta rekomendasi tanaman yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas limbah cair.



Gambar 1. Alur Skematis Permasalahan

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah

Limbah adalah benda sisa yang keberadaannya sudah tidak dipergunakan lagi karena tidak mempunyai nilai ekonomis. Limbah dapat mengandung bahan pencemar yang bersifat racun dan berbahaya. Oleh karena itu perlu dikelola dengan baik agar tidak menimbulkan gangguan, baik terhadap lingkungan maupun terhadap kehidupan yang ada (Sugiharto, 2005).

Berdasarkan sifatnya, limbah digolongkan menjadi tiga bagian, yaitu limbah padat, limbah cair dan limbah gas. Limbah padat adalah limbah yang sesuai dengan sifat benda padat yang merupakan hasil samping dari proses produksi berupa padatan, lumpur dan bubuk. Limbah cair adalah limbah yang bersumber dari pabrik yang biasanya banyak menggunakan air dalam prosesnya air harus dibuang. Air yang terikut dalam proses pengolahan, air yang ditambah dengan bahan kimia tertentu, setelah digunakan kemudian dibuang. Semua perlakuan tersebut dapat mengakibatkan buangan berupa limbah cair. Sedangkan limbah gas adalah limbah yang memanfaatkan udara sebagai media. Pabrik mengeluarkan gas, asap, partikel, debu melalui udara dengan dibantu angin memberikan jangkauan pencemaran yang luas (Wardhana, 2004).

2.2 Limbah Cair Penyamakan Kulit

Proses dalam industri penyamakan kulit bertujuan untuk merubah kulit hewan menjadi lembaran-lembaran kulit jadi yang siap untuk dipergunakan menjadi bahan baku produk kulit seperti sepatu, tas, kerajinan (Anonymous, 2003^a). Purnomo (1991) menjelaskan bahwa proses dalam industri penyamakan kulit dibagi menjadi tiga bagian yaitu *beamhouse process* (perendaman, pengapuran, pembuangan kapur, pengikisan protein, dan pengasaman), *tanhouse* (penyamakan) dan *finishing process* (penetralan, pengecatan dasar dan perminyakan serta pengecatan tutup). Dari ketiga proses tersebut dihasilkan tiga macam limbah, yaitu limbah cair, limbah padat dan limbah gas (Santi, 2004). Limbah cair berasal dari air buangan dari proses penyamakan kulit itu sendiri

yaitu perendaman, penghilangan bulu, pemberian bubuk kapur, perendaman, pengasaman, penyamaan, pemucatan, pemberian warna coklat dan pewarnaan, bekas cuci tetesan serta tumpahan. Limbah padat berupa pangkasan kulit, bulu, daging dan lainnya. Sedangkan limbah gas berasal dari pemrosesan kulit serta dari kurang tepatnya pengolahan limbah padat dan cair. Uraian tentang karakteristik limbah dari tiap proses penyamakan dapat dilihat pada Tabel 1. Penanganan yang dilakukan untuk mengolah limbah padat yaitu dengan menjual kembali limbah padat sebagai hasil sampingan. Sedangkan untuk limbah cair yang mengandung natrium secara umum dilakukan dengan mencampurnya dengan air. Ion natrium bertemu dengan air menghasilkan natrium hidroksida dan hidrogen, ion hidrogen yang bergerak ke atmosfer bila bertemu dengan oksigen akan membentuk molekul air yang baru.

Dari ke tiga macam limbah yang dihasilkan pada proses penyamakan kulit, limbah cair merupakan limbah yang paling membahayakan lingkungan. Hal ini terlihat dari banyaknya kandungan natrium (Lampiran 1b) sehingga tidak memenuhi baku mutu. Banyaknya kandungan natrium tersebut dikarenakan dalam proses penyamakan kulit digunakan bahan-bahan berbasis natrium seperti dalam proses krom dan pemutihan (Purnomo, 1991). Jika air yang mengandung Na berlebih digunakan untuk irigasi maka ion Na akan menggantikan ion Ca dan Mg dalam tanah dan akan mengubah struktur tanah (Effendi, 2003). Sedangkan dalam perairan beberapa ikan air tawar dapat menerima (toleran) kehadiran sejumlah kecil natrium dalam bentuk garam (Anonymous, 2003^c).

Tabel 1. Karakteristik limbah pada proses penyamakan kulit

No	Proses	Bahan	Karakteristik Limbah Cair
1	Perendaman	Air, Sodium Hipoklorida	Mengandung Sodium Hipoklorida
2	Pengapuran	Air, Air kapur (Kalium Hidroksida)	Bersifat basa
3	Pembuangan bulu dan bekas daging	Air, Sodium Sulfida	Bersifat alkalin, limbah Hidrogen Sulfida
4	Penghilangan kapur	Enzim, Garam Amonium	Bersifat basa, limbah gas ammonia
5	Pencucian	Air	Bersifat basa
6	Pengasaman	Air, Asam Sulfat, asam Khlorida	Bersifat asam
7	Proses Krom	Natrium bikhromat gula/tetes, asam sulfat	Bersifat asam mengandung Krom Trivalen
8	Pemutihan	Air, Natrium Karbonat, Asam Sulfat	Bersifat asam
9	Pencucian	Air	Bersifat asam, mengandung Krom
10	Fat Liquoring	Minyak	Mengandung minyak
11	Pemucatan	Bahan pemucat	Mengandung zat pemucat

Sumber : Purnomo (1991)

2.3 Proses Pengolahan Limbah

Limbah harus diolah dahulu sebelum dibuang agar tidak berpotensi menciptakan pencemaran. Oleh karena itu, teknologi pengolahan limbah cair adalah kunci dalam memelihara kelestarian lingkungan. Berdasarkan sifat limbah, proses pengolahan limbah dapat digolongkan menjadi tiga bagian yaitu proses fisika, kimia dan biologi (Kristanto, 2004).

2.3.1 Proses Fisika

Perlakuan terhadap limbah cair dengan cara fisika yaitu proses pengolahan secara mekanis dengan atau tanpa penambahan bahan kimia. Kegiatan yang termasuk dalam proses fisika yaitu penyaringan, penghancuran, perataan air, penggumpalan, sedimentasi, pengapungan dan filtrasi.

1. Penyaringan

Penyaringan bertujuan untuk memisahkan padatan yang tak larut, bahan kasar lain yang dimensinya cukup besar sehingga padatan ini tertahan. Bahan saringan yang sering digunakan adalah kawat *stainless steel* yang berupa anyaman, kain polyster, kawat tembaga, plat karbon dengan ukuran kasar, sedang dan halus (Kristanto, 2004).

2. Penghancuran

Penghancuran dilakukan bila dalam limbah terdapat padatan dengan ukuran yang tidak seragam. Padatan tersebut perlu dihancurkan menjadi butiran yang lebih kecil dan seragam. Padatan kasar harus dihaluskan terlebih dahulu dengan menggunakan pemotong berupa sisir sehingga padatan tadi seperti disisir terus menerus (Kristanto, 2004).

3. Perataan air

Perataan air dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan perataan aliran dan dengan membuat kolam. Perataan aliran yang dilakukan dengan mengubah sistem saluran. Tujuan dari kedua cara ini adalah agar terdapat keseragaman aliran pada saat terjadi pencampuran dengan bahan kimia agar memudahkan pengolahan lanjut (Kristanto, 2004).

4. Penggumpalan

Penggumpalan dilakukan dengan menambahkan zat kimia tertentu sehingga bahan padat yang ada dalam limbah akan menggumpal dan akhirnya mengendap karena pengaruh gaya gravitasi. Bahan kimia yang digunakan untuk penggumpalan misalnya adalah aluminium sulfat atau ferro sulfat. Untuk mempercepat reaksinya pada umumnya digunakan pengaduk yang kecepatannya dapat diatur (Kristanto, 2004).

5. Sedimentasi

Pada proses penggumpalan kadang masih terdapat bahan lain yang tidak ikut bereaksi dan karena dibutuhkan suatu kondisi tertentu agar bahan dapat mengendap. Oleh karena itu proses sedimentasi perlu dilakukan agar bahan-bahan yang belum mengendap pada proses sebelumnya dapat mengendap pada proses ini (Kristanto, 2004).

6. Pengapungan

Proses ini bertujuan agar lemak ataupun minyak dapat dengan cepat naik ke permukaan air. Pengapungan dilakukan dengan memasukkan udara ke dalam air. Pemasukan udara ke dalam air akan menciptakan gelembung-gelembung yang melekat pada suatu partikel dan dibawa naik ke permukaan (Kristanto, 2004).

7. Filtrasi

Filtrasi merupakan proses penyaringan halus yang tidak mengendap walaupun sudah ditambah dengan bahan kimia. Penyaringan ini menggunakan media seperti pasir, kerikil dan karbon aktif (Kristanto, 2004).

Kelebihan pengolahan dengan proses fisika yaitu prosesnya yang aman tidak menambah bahan pencemar pada akhir pengolahannya. Sedangkan kelemahannya yaitu banyaknya biaya yang dikeluarkan cukup banyak untuk membeli alat dan memelihara alat (Siregar, 2005).

2.3.2 Proses Kimia

Proses pengolahan secara kimia menggunakan bahan kimia untuk mengurangi konsentrasi zat pencemar di dalam limbah. Proses pengolahan secara kimia meliputi pengendapan dengan bahan kimia, klorinasi, oksidasi reduksi dan netralisasi (Kristanto, 2004).

1. Pengendapan dengan bahan kimia

Bahan pencemar yang dapat dikurangi atau dihilangkan dengan proses kimia adalah

- a. Material tersuspensi, baik organik maupun anorganik
- b. Fosfat terlarut dapat direduksi jika konsentrasinya kurang dari 1 mg/l dengan aluminium feri sulfat.
- c. Beberapa kalsium, magnesium dan silika dapat dihilangkan dengan NaOH.
- d. Beberapa logam berat dapat dihilangkan dengan kapur.
- e. Pengurangan bakteri virus dapat dicapai dengan kapur pada kondisi pH 10,5 – 11,5 dengan cara penggumpalan dan sedimentasi.

2. Klorinasi

Bakteri patogen di dalam air limbah dapat dihancurkan dengan proses klorinasi. Proses klorinasi dilakukan dengan memasukkan klor ke dalam air

limbah. Baik tidaknya hasil reaksi dalam proses ini ditentukan oleh suhu, pH, waktu kontak, turbiditas dan konsentrasi klor. Sisa-sisa klor yang masih terkandung di dalam limbah dapat dihilangkan dengan menggunakan karbon aktif atau sodium sulfat. Dengan karbon aktif, klor diikat menjadi asam klorida, sementara unsur karbon membentuk CO_2 (Kristanto, 2004).

3. Oksidasi dan reduksi

Bahan kimia pengoksidasi seperti klorin dan ozon digunakan untuk mengubah bahan organik dan anorganik menjadi bentuk yang sesuai dengan yang dikehendaki. Bahan yang digunakan untuk proses oksidasi misalnya Seng. Sedangkan bahan yang digunakan untuk proses reduksi misalnya Cuprum (Kristanto, 2004).

4. Netralisasi

Air limbah yang terdapat dalam kondisi asam atau basa harus dinetralkan sebelum dan sesudah perlakuan. Netralisasi adalah reaksi antara asam dan basa menghasilkan air dan garam. Jenis bahan kimia yang ditambahkan tergantung pada jenis dan jumlah air limbah serta kondisi lingkungan setempat. Netralisasi air limbah yang bersifat asam dapat dilakukan dengan penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (*slaked lime*) atau NaOH (natrium hidroksida). Sedangkan netralisasi air limbah yang bersifat basa dapat dilakukan dengan penambahan H_2SO_4 (asam sulfat), HCl (asam klorida), HNO_3 (asam nitrat), H_3PO_4 (asam fosforat), atau CO_2 . Sistem ini tidak dapat digunakan pada air limbah yang mengandung kadar sulfat tinggi (Siregar, 2005).

Beberapa kelebihan pengolahan kimia antara lain dapat memperoleh efisiensi tinggi, dapat menangani hampir seluruh polutan yang beracun dan tidak tergantung pada perubahan konsentrasi. Sedangkan kelemahan pengolahan kimia yaitu dapat meningkatkan jumlah garam pada *effluent* (hasil pengolahan), meningkatkan jumlah lumpur dan biaya pengolahan yang mahal karena memerlukan bahan kimia (Siregar, 2005).

2.3.3 Proses Biologi

Proses pengolahan limbah secara biologis adalah memanfaatkan mikroorganisme (ganggang, bakteri, protozoa) untuk menguraikan senyawa

organik dalam air limbah menjadi senyawa yang sederhana dan dengan demikian mudah mengambilnya. Proses pengolahan limbah melalui cara biologis dilakukan dengan tiga cara yaitu pengolahan cara aerob, pengolahan cara anaerob dan pengolahan fakultatif (Kristanto, 2004).

1. Pengolahan cara aerob

Pengolahan cara aerob adalah pengolahan yang membutuhkan adanya oksigen. Proses ini dilakukan pada sebuah kolam dengan penampang segi empat dan agak dangkal agar sinar matahari dapat sampai ke dasar kolam dan ganggang dapat melakukan fotosintesis. Beberapa proses pengolahan secara aerob yaitu kolam oksidasi, lumpur aktif, tricking filter dan lagon.

a. Kolam oksidasi

Prinsip dari kolam oksidasi adalah kemampuan pemulihan diri sendiri karena adanya bantuan dari luar. Air yang mengalir sebenarnya cukup potensial untuk memulihkan diri sendiri karena adanya arus turbulensi, gesekan dengan batuan sehingga banyak oksigen terserap dalam air. Pada kolam dengan kedalaman 1 – 1,5 m dimasukkan ganggang (algae). Karena adanya sinar matahari maka proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen. Jasad renik yang terdapat dalam air mengoksidasi bahan pencemar organik.

b. Lumpur aktif

Lumpur aktif yaitu jumlah total padatan tersuspensi yang berasal dari kolam pengendap lumpur aktif. Proses pertama dalam lumpur aktif yaitu air limbah diaerasi sehingga oksigen banyak terserap. Proses ke dua, cairan dialirkan ke tangki pemisah tempat lumpur mengendap pada jangka waktu tertentu, dan air berada di bagian atas. Proses ke tiga, air bersih yang keluar dapat dialirkan ke lingkungan, bila terdapat bakteri pembunuh, maka dilakukan desintoksan. Ke empat, lumpur yang mengendap di dasar kolam dibuang dan sebagian dikembalikan.

c. Tricking filter

Proses ini dilakukan dengan menggunakan bantuan filter. Filter yang digunakan adalah pasir, batu-batuan (kerikil), granit dan lain-lain dalam berbagai

ukuran. Proses yang terjadi dalam tricking filter adalah kontak limbah yang lebih luas dengan udara sehingga terjadi oksidasi.

d. Lagon

Sistem lagon atau kolam cocok untuk buangan limbah cair bervolume besar dan air dapat disimpan lebih lama. Lagon dilakukan dengan menambahkan oksigen ke dalam air.

2. Pengolahan cara anaerob

Prinsip pengolahan cara anaerob adalah mengubah bahan organik dalam limbah menjadi metana dan karbondioksida tanpa bantuan oksigen. Pengolahan cara anaerob dikenal melalui 3 sistem yaitu kolam terbuka, septiktank, kolam dan anaerob digester.

a. Kolam terbuka

Konstruksi kolam dibuat segi empat memanjang dan di sekeliling kolam dibuat tanggul untuk mencegah air lain masuk ke dalam kolam. Dasar kolam dibuat miring dengan kedalaman sekitar 3 m. Saluran masuk berada di bagian bawah tepat bercampur dengan lumpur aktif, sedangkan saluran keluarnya berada di dekat dengan permukaan air untuk mencegah timbulnya bau. Jika lemak tidak cukup untuk menutupi permukaan air, maka fungsinya sebagai penahan panas tidak terpenuhi, sehingga akan terjadi penurunan suhu, yang oleh karena itu perlu dimasukkan pemanas.

b. Septiktank

Septiktank merupakan tipe proses yang banyak digunakan karena bentuknya yang sederhana, dapat berupa kubus atau silinder dengan kedalaman 1,2 – 1,5 m yang bagian atasnya tertutup dan dilengkapi dengan saluran (pipa) pembuang gas.

c. Kolam anaerob digester

Proses ini ada dua macam yaitu standard rate digestion dan high rate digestion. Standard rate digestion merupakan kubus yang dilengkapi dengan pengaduk dan tutup terapung. Tutup tersebut dapat dinaik turunkan sesuai tinggi lumpur dalam tangki. Kerugian tangki semacam ini adalah membutuhkan volume yang cukup besar, sebab waktu tinggal yang cukup lama (30 hari). Peralatan high

rate digestion menutupi kekurangan peralatan standard rate digestion. Dua buah tangki dipasang secara seri. Tangki pertama dilengkapi dengan pengaduk dan pipa pemanas lumpur sehingga lumpur dan limbah dapat bercampur secara homogen. Pada tangki ke dua, padatan, cairan dan residu terpisah yang komposisinya hampir sama dengan standard rate digestion.

3. Pengolahan fakultatif

Kolam fakultatif adalah kolam yang mengandung bakteri yang memiliki adaptasi tinggi. Bakteri dapat berfungsi sebagai organisme aerob bila terdapat oksigen, dan berfungsi sebagai organisme anaerob bila tidak ada oksigen. Oleh karena itu disebut fakultatif. Limbah dipisahkan menjadi tiga lapisan yaitu lapisan teratas sebagai daerah aerobik, lapisan tengah daerah fakultatif dan lapisan bawah daerah anaerobik (Kristanto, 2004).

Kelebihan dari proses biologi yaitu prosesnya yang berlangsung cepat, membutuhkan tempat yang sedikit dan biaya yang rendah serta tidak menambah bahan pencemar. Sedangkan kelemahannya yaitu dalam hal peningkatan intensitas, karena prosesnya memerlukan kontrol yang intensif dan teliti (Siregar, 2005).

2.4 Proses Pengolahan Limbah Lainnya

Limbah tidak hanya terdiri dari bahan fisik, organik melainkan juga unsur-unsur anorganik yang ikut bersama dengan air buangan. Oleh karena itu pengolahan limbah didasarkan pada sifat bahan yang terdapat dalam limbah. Proses pengolahan limbah dengan proses fisika, kimia dan biologi mempunyai kelebihan dan kekurangan. Adanya kekurangan dari proses pengolahan limbah tersebut dapat menambah resiko pencemaran. Kombinasi proses fisika, kimia, biologi bisa digunakan untuk meningkatkan efisiensi peralatan pengolahan, biaya serta dapat mengurangi resiko pencemaran (Kristanto, 2004).

Adanya kekurangan pada proses pengolahan secara fisik, kimia dan biologi membuat perhatian peneliti dan perusahaan komersial serta industri tertuju pada penggunaan tanaman sebagai agen pembersih lingkungan tercemar, penggunaan tanaman. Penggunaan tanaman merupakan contoh pengolahan limbah

secara biologi (Priyanto, 2005). Penggunaan tanaman untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik disebut fitoremediasi. Pada tahun 2002 di Bali, konsep fitoremediasi digunakan oleh pihak pemerintah setempat untuk mengembangkan proses *wastewater garden* (WWG) dengan menerapkan metode wetland (Anonymous, 2003^b). Metode *wetland* menerapkan kombinasi pengolahan limbah secara fisik dan biologi. Dimana pengolahan fisik diterapkan dengan adanya proses pengendapan yang mengawali unit wetland. Dilanjutkan dengan mekanisme alami dari ekosistem yang dibentuk oleh mikroorganisme dan tanaman yang berhadapan dengan jenis polutan yang masuk. Selain wetland, tanah juga berpotensi sanitasi lingkungan (Notohadiprawiro, 2006).

2.4.1 Fitoremediasi

Istilah fitoremediasi berasal dari kata Inggris *phytoremediation*, kata ini sendiri tersusun atas dua bagian kata, yaitu phyto yang berasal dari kata Yunani *phyton* yang artinya tumbuhan dan *remediation* yang berasal dari kata Latin *remedium* yang artinya menyembuhkan, dalam hal ini berarti juga menyelesaikan masalah dengan cara memperbaiki kesalahan atau kekurangan (Priyanto, 2005). Dengan demikian fitoremediasi dapat didefinisikan sebagai penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik.

Proses dalam fitoremediasi dibagi menjadi lima tahap yaitu fitoekstraksi, rizofiltrasi, fitodegradasi, fitostabilisasi, fitovolatilisasi (Priyanto, 2005).

1. Fitoekstraksi mencakup penyerapan kontaminan oleh akar tumbuhan dan translokasi atau akumulasi senyawa itu ke bagian tumbuhan seperti akar, daun atau batang.
2. Rizofiltrasi adalah pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi logam dari aliran limbah.
3. Fitodegradasi adalah metabolisme kontaminan di dalam jaringan tumbuhan, misalnya oleh enzim dehalogenase dan oksigenase.
4. Fitostabilisasi adalah suatu fenomena diproduksinya senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi kontaminan di daerah rizosfer.

5. Fitovolatilisasi terjadi ketika tumbuhan menyerap kontaminan dan melepaskannya ke udara lewat daun; dapat pula senyawa kontaminan mengalami degradasi sebelum dilepas lewat daun.

Beberapa tanaman air yang baik untuk digunakan dalam meremediasi zat organik, nutrisi atau logam-logam antara lain kangkung air (*Ipomoea reptans*), enceng gondok (*Eichornia crassipes*), kiambang (*Salvinia molesta*) (Moenandir dan Hidayat, 1993; Moenandir dan Irawan, 1993). Tanaman air lain seperti *Cyperus* (rumput payung) juga bisa digunakan untuk fitoremediasi (Suriawiria, 2003). Tanaman-tanaman air tersebut sesuai untuk fitoremediasi karena tanaman air memiliki kemampuan alami untuk menghilangkan bahan pencemar. Hal tersebut terjadi karena tanaman air mengasimilasi senyawa organik dan anorganik dari limbah. Melalui akarnya yang menjadi tempat filtrasi dan adsorpsi padatan tersuspensi dan menjadi tempat tumbuhnya mikroorganisme (Priyanto, 2005).

Rumput payung merupakan kerabat terdekat dari papyrus. Rumput payung diklasifikasikan dalam kelas Liliopsida, ordo Cyperales, famili Cyperaceae, genus *Cyperus* dan masuk dalam spesies *Cyperus alternifolius* (Anonymous, 2008). Seperti papyrus, rumput payung juga termasuk tumbuhan perdu yang dapat hidup pada lahan basah, rawa-rawa maupun pada lahan kering. Seperti papyrus, semua daunnya terletak di bagian atas batang. Tetapi berbeda dengan papyrus, daun *Cyperus alternifolius* pendek lebih dan pipih sekitar 6 – 10 cm. Daunnya tersusun simetris melingkar. Bunga-bunga kecil tumbuh di sekitar pusat batang. Buah berwarna kuning keemasan dan akan berubah warna menjadi coklat tua (Anonymous, 2007).

Syarat tumbuh tanaman *Cyperus alternifolius* menurut Sudarmono (1997) meliputi cahaya, suhu, media tanam, air dan pemupukan.

a. Cahaya

Jenis tanaman rumput ini tumbuh paling bagus jika memperoleh cahaya matahari langsung selama 4 jam atau lebih dalam sehari. Apabila tanaman mendapat cahaya buatan dari lampu atau cahaya alam, memerlukan cahaya berkekuatan 800 f.c selama 12 jam. Akan tetapi, tanaman ini masih bisa tumbuh baik pada cahaya matahari tidak langsung.

b. Suhu

Tanaman ini tumbuh baik jika ditanam di tempat atau daerah yang memiliki suhu lingkungan siang hari 68°F - 72°F dan suhu malam hari 50°F - 55°F .

c. Media tanam

Kelebihan rumput payung adalah bisa hidup di darat dan di air. Sehingga sering disebut juga sebagai tanaman semi basah. Media tanamnya bisa menggunakan tanah, tetapi jika menginginkan hasil maksimal sebaiknya menggunakan media tanam lumpur sawah, lumpur empang, atau lumpur kali yang lebih lembut. Selain lumpur, media tanamnya bisa juga menggunakan tanah. Bila menggunakan media tanah sebaiknya media terdiri atas campuran satu bagian tanah, satu bagian pupuk kandang/kompos, satu bagian pasir. Media tanam dalam pot diusahakan selalu dalam kondisi lembab sepanjang waktu.

d. Air

Dalam pertumbuhannya, disamping memerlukan keadaan lingkungan dan sumber cahaya yang cukup serta media tumbuh, tanaman juga memerlukan air yang cukup. Sebaiknya penyiraman diberikan dua kali dalam sehari yaitu pada pagi dan sore hari. Dimana pada pagi hari, air akan digunakan tanaman untuk fotosintesis.

e. Pemupukan

Tanaman ini memerlukan pemupukan setiap bulan sekali, mulai awal musim penghujan hingga musim penghujan berakhir. Tanaman yang baru dibeli tidak perlu dipupuk selama 6 bulan.

Beberapa penelitian telah menggunakan tanaman *Cyperus alternifolius* sebagai bahan penelitian. Salah satunya yaitu penelitian Liao *et al.* (2005), yang menyebutkan bahwa tanaman *Cyperus alternifolius* menyerap lebih banyak N, P, Cu dan Zn ($22,69\text{ mg.g}^{-1}$; $6,09\text{ mg.g}^{-1}$; $68,72\text{ mg.g}^{-1}$; $18,49\text{ mg.g}^{-1}$) dari limbah peternakan babi daripada tanaman *Vetiveria zizanoides* ($15,44\text{ mg.g}^{-1}$; $5,47\text{ mg.g}^{-1}$; $8,93\text{ mg.g}^{-1}$; $3,69\text{ mg.g}^{-1}$). Hasil yang sama juga terdapat pada penelitian Cheng *et al.* (2002) yang menyebutkan bahwa *Cyperus alternifolius* mampu menyerap Cu dan Mn dari limbah cair yang mengandung logam berat. Miyazaki *et al.* (2005) menambahkan bahwa tanaman *Cyperus alternifolius* kemampuannya

dalam menjernihkan air cukup tinggi meskipun dalam kondisi pH yang tinggi. Dari uraian tersebut diketahui bahwa *Cyperus alternifolius* (rumput payung) mampu menyerap limbah logam berat, maka dapat diasumsikan bahwa rumput payung juga dapat menyerap limbah natrium yang tingkat pencemarannya lebih kecil dibandingkan dengan logam berat.

2.4.2 *Wetland*

Kata *wetland* berasal dari bahasa Inggris yang berarti lahan basah. *Wetland* merupakan wilayah-wilayah dimana tanahnya jenuh dengan air, baik bersifat permanen (menetap) atau musiman. Contoh dari lahan basah yaitu rawa-rawa, paya dan gambut (Wikipedia, 2009). *Constructed wetland* merupakan suatu rawa buatan yang dibuat untuk mengolah air limbah domestik, untuk aliran air hujan dan mengolah lindi (leachate) atau sebagai tempat hidup habitat liar lainnya, selain itu *constructed wetland* dapat juga digunakan untuk reklamasi lahan penambangan atau gangguan lingkungan lainnya (Metcalf and Eddy, 1991). *Wetland* dapat berupa biofilter yang dapat meremoval sediment dan polutan seperti logam berat. *Constructed wetland* ada dalam berbagai bentuk dan ukuran, tergantung dari pemilihan dan evaluasi lokasi. Sistem ini bisa disesuaikan ke hampir semua lokasi dan bisa dibangun dalam banyak konfigurasi dari unit tunggal kecil yang hanya beberapa meter persegi sampai sistem dengan luas beratus hektar yang terintegrasi dengan pertanian air atau tambak.

Pada dasarnya proses yang terjadi pada *wetland* sangat alami artinya mikroorganisme dan tanaman membentuk ekosistem sendiri untuk berhadapan dengan jenis polutan yang masuk, jadi tingkat adaptasi atau akomodasi terhadap zat dan kadar pencemaran sangat baik (Anonymous, 2003^b). Metode *wetland* pertama diterapkan di Tennessee, USA untuk membersihkan tanah dan air tanah yang mengandung bahan peledak, yaitu dengan mengalirkan air yang tercemar bahan peledak tersebut ke dalam kolam yang diberi media kerikil yang ditanami tumbuhan air.

Kerikil sering digunakan sebagai media untuk budidaya tanaman secara hidroponik. Media ini mempunyai pori-pori makro yang cukup banyak sehingga akan membantu peredaran larutan unsur hara dan udara serta tidak menekan

pertumbuhan akar. Kerikil merupakan media yang tahan lapuk sehingga cocok digunakan sebagai media tanam di dasar pot atau kolam (Anonymous, 2004).

Metode *wetland* juga diterapkan di beberapa tempat di Bali untuk mengolah limbah domestik yang dikenal dengan sebutan *wastewater garden* (WWG). Anonymous (2003^b) menyebutkan tentang beberapa ketentuan yang diperlukan untuk membuat sistem *wetland* yaitu:

1. Unit *wetland* harus didahului dengan bak pengendap untuk menghindari penyumbatan pada media kerikil oleh partikel-partikel besar.
2. Konstruksi berupa bak atau kolam dengan kedalaman ± 1 m.
3. Kolam dilengkapi pipa inlet dan pipa berlubang untuk outlet.
4. Kolam diisi dengan media kerikil diameter 5 mm s/d 10 mm setebal ± 80 cm.
5. Ditanami tanaman air dengan melubangi lapisan media kerikil sedalam 40 cm untuk dudukan tumbuhan.
6. Dialirkan air limbah setebal 70 cm dengan mengatur ketinggian outlet yang memungkinkan media selalu tergenang air 10 cm di bawah permukaan kerikil.
7. Disain luas kolam berdasarkan rata-rata jumlah air yang digunakan.

Sistem *wetland* yang memungkinkan media selalu tergenang air di bawah permukaan media atau disebut aliran air dalam juga dianjurkan Priyanto (2005). Bahwa efluen agar dialirkan ke sistem secara aliran air dalam agar terjadi kontak yang maksimal antara limbah dengan substrat dan akar sehingga didapat hasil pengolahan limbah yang maksimal.

2.4.3 Tanah

Dibalik potensi tanah sebagai wahana pencemaran badan-badan air, tanah berpotensi untuk sanitasi lingkungan. Potensi ini berkaitan dengan kemampuan menyaring bahan pencemar berupa suspensi, kemampuan menjerap, menangkap dan mengkelat zat pencemar berupa ion terlarut, dan kemampuan detoksifikasi bahan pencemar organik. Daya saring ditentukan oleh tekstur dan struktur tanah. Daya menjerap, menangkap dan mengkelat ditentukan oleh mineral lempung, oksida dan hidroksida Fe dan Al, serta senyawa-senyawa humik. Daya

detoksifikasi ditentukan oleh enzim-enzim yang dihasilkan oleh jasad-jasad renik (Notohadiprawiro, 2006).

Salah satu jenis tanah yang dapat digunakan sebagai sanitasi lingkungan yaitu Andisol. Secara umum Andisol terletak pada ketinggian lebih dari 1000 m dpl, dengan bentuk wilayah datar sampai bergunung. Santoso (1986) menyebutkan bahwa Andisol dicirikan oleh lapisan atas berwarna hitam sampai coklat kekelabuan, kandungan bahan organik tinggi, lapisan bawah berwarna coklat sampai coklat kekuningan, struktur remah, tekstur sedang sampai agak halus, pH tanah agak masam hingga netral, fraksi liat sebagian besar alofan. Selain itu Andisol mempunyai luas permukaan partikelnya besar sehingga kapasitas menahan air besar, porositas tinggi dan permeabilitas cepat, serta kapasitas tukar kation tinggi (50 - 100 me/100 g).

Kontaminan yang terlarut di dalam tanah jika mengalami kontak dengan tanah akan mengalami reaksi pengikatan pada permukaan koloid tanah. Proses pengikatan tersebut dikenal dengan istilah sorpsi. Sebaliknya, air yang tidak mengandung kontaminan jika mengalami kontak dengan tanah yang mengandung kontaminan akan terjadi reaksi pelepasan kontaminan dari tanah ke dalam air, yang dikenal dengan istilah desorpsi. Baik proses sorpsi dan desorpsi merupakan reaksi tanah yang sangat mempengaruhi ketersediaan kontaminan di dalam tanah (Notodarmojo, 2005).

2.5 Parameter Kualitas Air

Pencegahan terhadap terjadinya pencemaran lingkungan oleh berbagai aktivitas industri dilakukan dengan menetapkan baku mutu lingkungan sebagai usaha pengendalian terhadap pencemaran lingkungan, termasuk didalamnya adalah baku mutu air pada sumber. Kristanto (2004) menjelaskan bahwa baku mutu air pada sumber adalah batas kadar yang diperkenankan bagi zat atau bahan pencemar yang terdapat di dalam air, tetapi air tersebut tetap dapat digunakan sesuai dengan kriterianya. Menurut peruntukannya, air pada sumber air dapat dikategorikan menjadi empat golongan, yaitu

1. *Golongan A*, yaitu air yang dapat digunakan sebagai air minum secara langsung tanpa diolah terlebih dahulu.
2. *Golongan B*, yaitu air yang dapat digunakan sebagai air baku untuk diolah sebagai air minum dan keperluan keluarga lainnya.
3. *Golongan C*, yaitu air yang dapat digunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan.
4. *Golongan D*, yaitu air yang dapat digunakan untuk keperluan pertanian dan dapat digunakan untuk usaha perkotaan, industri, dan listrik tenaga air.

Daerah sumber bahan penelitian merupakan kawasan industri dan kawasan pertanian. Oleh karena itu baku mutu air yang digunakan untuk menilai kualitas air limbah adalah baku mutu air *Golongan D* (Tabel 2).

Tabel 2. Standar Kualitas Air di Perairan Umum *Golongan D* Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.20 Tahun 1990

No	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum <i>Golongan D</i>
1	Fisika		
	a. Jumlah zat padat terlarut (TDS)	mg/L	1000
	b. Daya Hantar Listrik	$\mu\text{mhos/cm}$	2250
2	Kimia anorganik		
	a. Air raksa	mg/L	0,005
	b. Arsen	mg/L	1
	c. Kadmium	mg/L	0,01
	d. Kromium valensi 6	mg/L	1
	e. Mangan	mg/L	2
	f. Natrium	mg/L	60
	g. pH	mg/L	5 - 9
	h. Selenium	mg/L	0,05
	i. Seng	mg/L	2
	j. Tembaga	mg/L	0,1
	k. Timbal	mg/L	1
	l. Nikel	mg/L	0,5
	m. SAR (Sodium Absorption Ratio)	mg/L	1,5 – 2,5

Sumber: Anonymous (2006)

Berdasarkan hasil analisa dasar limbah cair penyamakan kulit (Lampiran 2), parameter yang tidak memenuhi baku mutu air Golongan D adalah pH, Natrium, SAR (Sodium Absortion Ratio), TDS, DHL, COD dan BOD. Berikut disajikan penjelasan tentang ke empat parameter tersebut.

2.5.1 pH

pH menyatakan intensitas kemasaman atau alkalinitas dari suatu cairan dan mewakili konsentrasi ion hidrogen (Mahida, 1993). Apabila terjadi kelebihan ion hidrogen maka air menjadi asam dan jika kekurangan ion hidrogen menyebabkan air menjadi alkali. Nilai pH alami perairan dipengaruhi oleh konsentrasi CO₂ dan senyawa yang bersifat asam. Proses utama yang berpengaruh terhadap nilai pH adalah fotosintesis, respirasi dan asimilasi N. Pemasukan bahan organik ke dalam air meningkatkan konsentrasi ion hidrogen sehingga pH menjadi naik (Brower *et al.*, 1990).

pH sangat penting sebagai parameter kualitas air karena pH mengontrol tipe dan laju kecepatan reaksi beberapa bahan dalam air (Anonymous, 2007). Adapun kadar yang baik adalah kadar dimana masih memungkinkan kehidupan biologis di dalam air berjalan dengan baik. Air limbah dengan konsentrasi pH yang tidak netral akan menyulitkan proses biologis, sehingga mengganggu proses penjernihannya (Sugiharto, 2005). Sebagian besar biota akuatik sensitif terhadap perubahan pH dan menyukai pH sekitar 7 – 8,5 (Effendi, 2003).

2.5.2 Na dan SAR

Natrium (Na) adalah salah satu unsur alkali utama yang ditemukan di perairan dan merupakan kation penting yang mempengaruhi kesetimbangan keseluruhan kation di perairan. Hampir semua senyawa natrium mudah larut dalam air dan bersifat sangat reaktif. Garam-garam natrium digunakan dalam industri sehingga limbah industri dan limbah domestik merupakan sumber natrium antropogenik (Effendi, 2003). Pengukuran kadar natrium perlu dilakukan jika perairan diperuntukkan bagi air minum dan kepentingan irigasi pertanian. Kesesuaian air bagi kepentingan irigasi pertanian diukur dengan parameter SAR (Sodium Absortion Ratio). Rasio ini menggambarkan sampai sejauh mana

natrium akan terserap ke dalam tanah. Nilai SAR ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{[(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]}}$$

2.5.3 Zat Padat Terlarut (TDS)

Zat padat terlarut atau padatan terlarut adalah padatan-padatan yang mempunyai ukuran lebih kecil dibandingkan padatan tersuspensi. Padatan ini terdiri dari senyawa-senyawa organik dan anorganik yang terlarut dalam air, mineral dan garam-garamnya. Mineral seperti Merkuri, Timbal, Arsenik, Kadmium, Kromium, Nikel, dan lain-lain, sedangkan garam misalnya Natrium, Magnesium dan Kalsium (Kristanto, 2004).

Padatan terlarut total (*Total Dissolved Solid* atau TDS) adalah bahan-bahan terlarut (diameter $< 10^{-6}$ mm) dan koloid (diameter $< 10^{-6}$ mm - 10^{-3} mm) yang berupa senyawa-senyawa kimia dan bahan-bahan lain, yang tidak tersaring pada kertas saring berdiameter 0,45 μ m. Padatan terlarut total mencerminkan jumlah kepekatan padatan dalam suatu sampel air yang dinyatakan dalam miligram per liter atau ppm (Effendi, 2003).

2.5.4 Daya Hantar Listrik (DHL)

Daya Hantar Listrik (DHL) adalah gambaran numerik dari kemampuan air untuk meneruskan aliran listrik (Effendi, 2003). Sedangkan Wirosuedarmo (1985) menyatakan bahwa DHL digunakan untuk mendekati kadar elektrolit terlarut. Semakin besar DHL maka semakin banyak jumlah ion di perairan. DHL merupakan pengukuran secara tidak langsung terhadap salinitas yang menggambarkan konsentrasi osmotik larutan. Konsentrasi osmotik merupakan sifat penting perairan yang berhubungan dengan keseimbangan air dan garam dari organisme karena perairan tercemar mempunyai nilai DHL yang lebih tinggi daripada perairan alami. Pengukuran DHL sering digunakan sebagai petunjuk ada tidaknya polusi. Besarnya nilai DHL antara lain dipengaruhi oleh salinitas dan banyaknya ion-ion penghantar listrik yang terkandung dalam suatu perairan seperti Na^+ , Cl^- dan NO_3^- (Brower *et al.*, 1990).

2.5.5 COD (Chemical Oxygen Demand)

COD (Chemical Oxygen Demand) menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis maupun yang sukar didegradasi secara biologis menjadi karbondioksida dan air (Effendi, 2003). Pengukuran COD didasarkan pada kenyataan bahwa hampir semua bahan organik dapat dioksidasi menjadi karbondioksida dan air dengan bantuan oksidator kuat (kalium dikromat) dalam suasana asam. Dengan kata lain besarnya oksigen yang dikonsumsi setara dengan jumlah oksidator yang diperlukan untuk mengoksidasi air sampel.

Banyak zat organik yang tidak mengalami penguraian biologis secara cepat berdasarkan uji BOD selama lima hari. Bakteri dapat mengoksidasi zat organik menjadi karbondioksida dan air, kalium dikromat dapat mengoksidasi lebih banyak lagi sehingga menghasilkan nilai COD yang lebih tinggi dari BOD untuk air yang sama. Di samping itu bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme dapat ikut teroksidasi dalam uji COD. 96% hasil uji COD yang dilakukan ± 10 menit, kira-kira setara dengan hasil uji BOD selama 5 hari (Kristanto, 2004).

2.5.6 BOD (Biological Oxygen Demand)

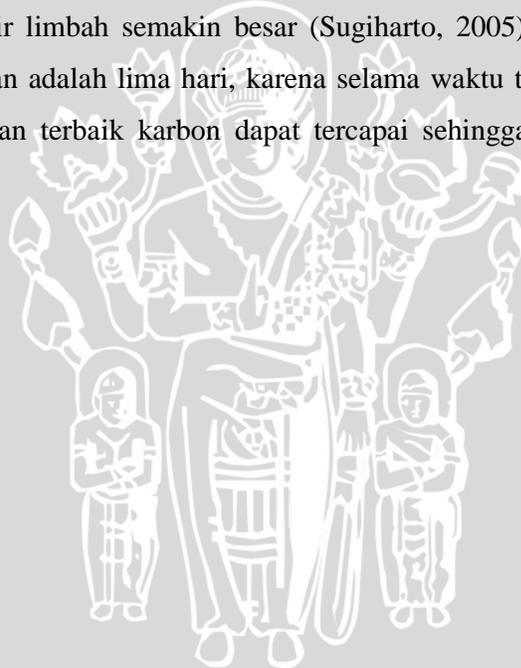
BOD (Biochemical Oxygen Demand) merupakan gambaran kadar bahan organik yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba aerob untuk mengoksidasi bahan organik menjadi karbondioksida dan air (Effendi, 2003). Pada umumnya, air lingkungan mengandung mikroorganisme yang dapat memecah atau mendegradasi bahan buangan organik. Jumlah mikroorganisme di dalam air lingkungan tergantung pada tingkat kebersihan air. Air yang bersih (jernih) biasanya mengandung mikroorganisme yang relatif lebih sedikit dibandingkan dengan air yang telah tercemar oleh bahan buangan (Wardhana, 2004).

Pemeriksaan BOD didasarkan atas reaksi oksidasi zat organik dengan oksigen di dalam air dan proses tersebut berlangsung karena adanya bakteri aerobik. Organisme aerobik membutuhkan oksigen untuk proses reaksi biokimia yaitu untuk mengoksidasi bahan organik, sintesis sel dan oksidasi sel. Sebagai

hasil oksidasi akan terbentuk karbondioksida, air dan amoniak. Reaksi oksidasi dapat dituliskan sebagai berikut :



Reaksi tersebut di atas terjadi sempurna memerlukan waktu yang cukup lama kira-kira 10 hari. Dalam waktu 2 hari mungkin reaksi telah mencapai 50% dan dalam waktu 5 hari mencapai sekitar 75% (Wardhana, 2004). Nilai BOD perairan dipengaruhi oleh suhu, densitas plankton, keberadaan mikroba, serta jenis dan kandungan bahan organik. Semakin besar angka BOD menunjukkan bahwa derajat pengotoran air limbah semakin besar (Sugiharto, 2005). Pada uji BOD, waktu yang digunakan adalah lima hari, karena selama waktu tersebut sebanyak 60% - 70% kebutuhan terbaik karbon dapat tercapai sehingga dikenal dengan BOD₅.



III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di pabrik penyamakan kulit PT. Kasin Malang mulai bulan Januari 2009 sampai April 2009. Analisis tanah dilaksanakan di Laboratorium kimia dan Fisika Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Sedangkan analisis kualitas air limbah dilaksanakan di Laboratorium kualitas air Jasa Tirta.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian yaitu bak plastik berkapasitas 30 liter (Gambar 2) yang berfungsi sebagai tempat limbah cair, ember plastik berkapasitas 11,67 liter (Gambar 2) sebagai tempat limbah cair, pipa berdiameter 3 cm untuk mengalirkan air limbah, kasa untuk menyaring tanah agar tidak ikut terangkut aliran limbah, dan penggaris untuk mengukur ketinggian tanaman.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian yaitu limbah cair dari inlet pabrik penyamakan kulit PT.Kasin Janti-Malang serta hasil analisa laboratorium outlet dari IPAL, tanaman Rumput payung (*Cyperus alternifolius*) dengan tinggi rata-rata 50 cm dibeli dari toko bunga, tanah ordo Andisol yang diambil di Kebun Percobaan Universitas Brawijaya di Cangar-Batu pada kedalaman 0-20 cm, batu kerikil dengan diameter 5-10 mm dibeli dari toko bahan bangunan dan aquades sebagai media tumbuh. Sehari sebelum penanaman, Rumput payung dicuci dan ditumbuhkan dalam media aquades.

3.3 Pelaksanaan Penelitian

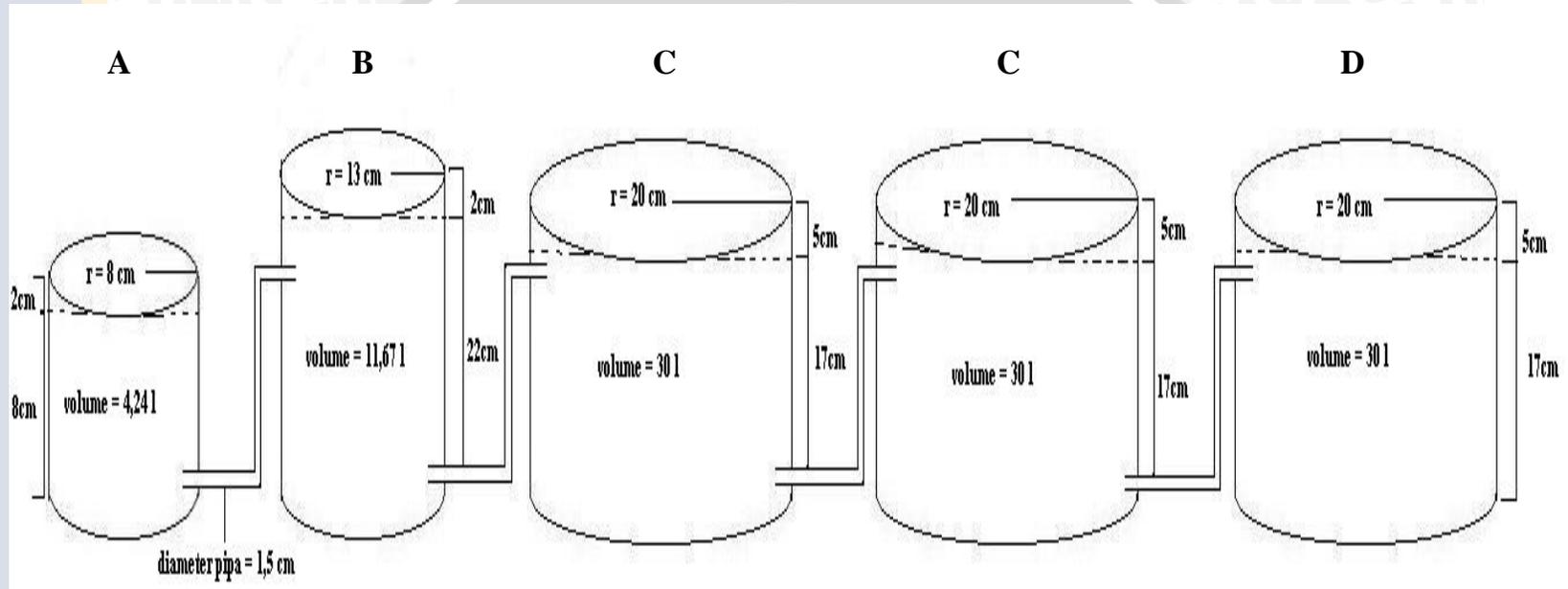
Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) sederhana terdiri dari 6 macam perlakuan dengan ulangan sebanyak 3 kali (Tabel 3).

Tabel 3. Perlakuan Dalam Penelitian

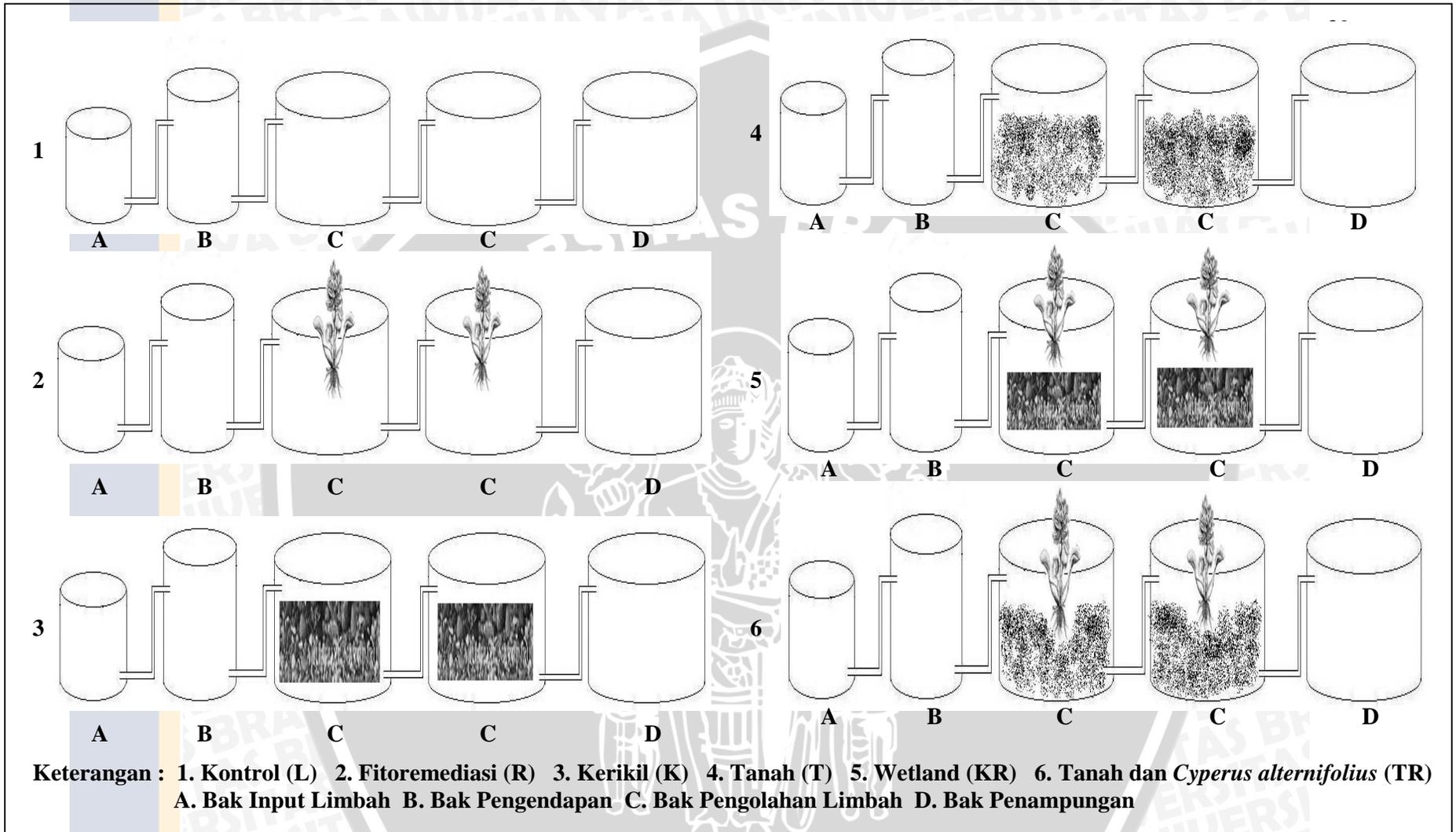
No	Kode	Perlakuan	Ukuran
1	L	Limbah : Kontrol	Limbah sebanyak 4 liter
2	R	Limbah + Fitoremediasi (<i>Cyperus alternifolius</i>)	4 Tanaman + limbah sebanyak 4 liter
3	K	Limbah + Kerikil	Kerikil diisi dalam bak sampai mengisi 15,07 liter volume bak + limbah sebanyak 4 liter
4	KR	Limbah + Wetland (Kerikil + Fitoremediasi)	Kerikil diisi dalam bak sampai mengisi 15,07 liter volume bak + 4 tanaman + limbah sebanyak 4 liter
5	T	Limbah + Tanah	Tanah diisi dalam bak sampai mengisi 15,07 liter volume bak + limbah sebanyak 4 liter
6	TR	Limbah + Tanah + Fitoremediasi	Tanah diisi dalam bak sampai mengisi 15,07 liter volume bak + limbah sebanyak 4 liter + 4 tanaman

Tahapan perlakuan limbah terdiri dari tiga tahap, yaitu proses pengendapan, proses pengolahan limbah dan penampungan limbah dari tahap ke dua (Gambar 3). Limbah cair yang diambil dari inlet pabrik dituang di bak input limbah (bak A). Pada tahap pertama, limbah terlebih dahulu diendapkan di bak pengendapan (bak B) selama 2,5 hari agar terpisah dari padatan yang terdapat dalam limbah. Pengendapan ini bertujuan agar padatan tidak ikut terbawa aliran limbah serta mengurangi resiko adanya penyumbatan pipa. Tahap ke dua yaitu proses pengolahan limbah (bak C) dimana limbah yang mengalir keluar dari bak B mengalami pengolahan limbah selama 5 hari sesuai perlakuan. Pada tahap terakhir, limbah dari tahap ke dua ditampung di bak penampung (bak D) yang kemudian diambil sampel untuk dianalisis.

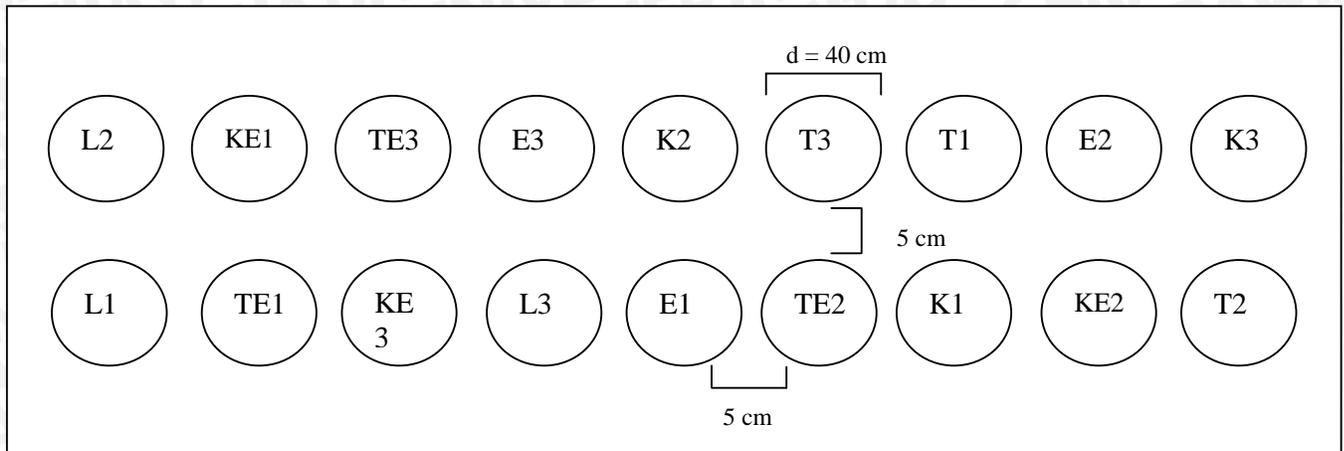
Wadah diatur dengan jarak antar wadah 5 cm, untuk mencegah kemungkinan air limbah masuk ke wadah lain pada saat penuangan ataupun pengambilan sampel limbah untuk analisis (Gambar 4).



Gambar 2. Wadah Yang Digunakan Dalam Penelitian



Gambar 3. Metode Aplikasi perlakuan



Gambar 4. Denah Percobaan

Tanaman yang digunakan dalam penelitian yaitu enceng gondok, melati air dan *Cyperus alternifolius*. Sampai pada pengamatan pertama (18 HSR) tanaman yang digunakan untuk remediasi masih menggunakan enceng gondok dan melati air, tetapi menjelang pengamatan ke dua (36 HSR) semua enceng gondok dan melati air mati. Sehingga untuk melanjutkan proses remediasi maka diadakan pergantian tanaman, tanaman yang digunakan sampai pengamatan ke lima (90 HSR) yaitu *Cyperus alternifolius*.

3.4 Pengamatan dan Analisis Data

3.4.1 Pengamatan

Untuk mengetahui tingkat kualitas air pada setiap perlakuan dalam penelitian, perlu melihat parameter yang ada agar bisa menentukan tinggi rendahnya kualitas air tersebut. Macam parameter yang diamati terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter, Metode dan Waktu Pengamatan

Paramater pengamatan	Metode analisa	Waktu pengamatan
1. Sebelum perlakuan		
a. Analisa dasar limbah inlet dan outlet IPAL		
- pH	Electrode glass	SR
- TDS	APHA. Ed. 20. 2540 C, 1998	SR
- Na	SNI 06 2431 – 1991	SR
- DHL	Electrode glass	SR
- SAR	APHA. Ed. 20. 3500 Ca, 1998	SR
	APHA. Ed. 20. 3500 Mg, 1998	
- Crom valensi 6	APHA. Ed. 20. 3500 Cr B, 1998	SR
- Arsen	Q1/LKA/56 (HVG)	SR
- Kadmium	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	SR
- Tembaga	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1999	SR
- Air raksa	Q1/LKA/56 (HVG)	SR
- Mangan	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1999	SR
- Nikel	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1999	SR
- Timbal	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1999	SR
- Selenium	Q1/LKA/56 (HVG)	SR
- Seng	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1999	SR
b. <i>Cyperus alternifolius</i>		
- tinggi tanaman	Pengukuran	SR
c. Tanah		
- pH (H ₂ O)	Electrode glass	SR
- KTK	Ekstraksi NH ₄ OAC 1N pH 7	SR
- Na	Ekstraksi NH ₄ OAC 1N pH 7	SR
- C-organik	Walkey dan Black	SR
2. Setelah perlakuan		
a. Limbah		
- pH	Electrode glass	18,36,54,72,90 HSR
- TDS	APHA. Ed. 20. 2540 C, 1998	18,36,54,72,90 HSR
- Na	SNI 06 2431 – 1991	18,36,54,72,90 HSR
- DHL	Electrode glass	18,36,54,72,90 HSR
- SAR	APHA. Ed. 20. 3500 Ca, 1998	18,36,54,72,90 HSR
	APHA. Ed. 20. 3500 Mg, 1998	
- BOD	APHA. Ed. 20. 521OD, 1998	18,36,54,72,90 HSR
- COD	Q1/LKA/19	18,36,54,72,90 HSR

Keterangan : HSR = Hari setelah remediasi

SR = Sebelum remediasi

3.4.2 Analisis data

Untuk mengetahui seberapa besar perbedaan kualitas remediasi kontrol (L) dan perlakuan lain (R, K, T, KR dan TR) dalam meremediasi limbah cair diketahui dengan menghitung nilai efektifitas. Nilai efektifitas diketahui dengan menghitung prosentase dari perbandingan antara nilai pH, Na, SAR, TDS, DHL, COD dan BOD remediasi R, K, T, KR dan TR dengan perlakuan kontrol (L). Semakin besar nilai efektifitas maka semakin tinggi pula kemampuan perlakuan (R/ K/ T/ KR/ TR) dalam meningkatkan kualitas limbah cair.

Data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan sidik ragam RAL dengan taraf nyata ($F=5\%$) untuk melihat pengaruh antar perlakuan kemudian dilanjutkan dengan uji Duncan pada taraf 5% untuk melihat perbedaan antar perlakuan. Untuk mengetahui hubungan antar variabel digunakan uji korelasi.



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Berbagai Remediasi Terhadap Kualitas Limbah Cair Pabrik Penyamakan Kulit

Pengaruh berbagai remediasi terhadap kualitas limbah penyamakan kulit diukur dengan menggunakan parameter pH, Natrium (Na), Sodium Absorbtion Ratio (SAR), Total dissolved solution (TDS), daya hantar listrik (DHL), Chemical oxygen demand (COD) dan Biological oxygen demand (BOD).

4.1.1 Nilai pH

Hasil analisis ragam (Lampiran 4) menunjukkan bahwa berbagai remediasi berpengaruh nyata (taraf 5%) terhadap rerata pH pada 90 HSR. Perubahan rerata pH selama lima kali pengamatan tersaji pada Gambar 5. Nilai pH awal limbah cair sebelum remediasi yaitu sebesar 12,24 (Lampiran 1b). Dari Gambar 5 diketahui bahwa setelah mengalami remediasi nilai pH menurun pada semua remediasi termasuk kontrol (L).

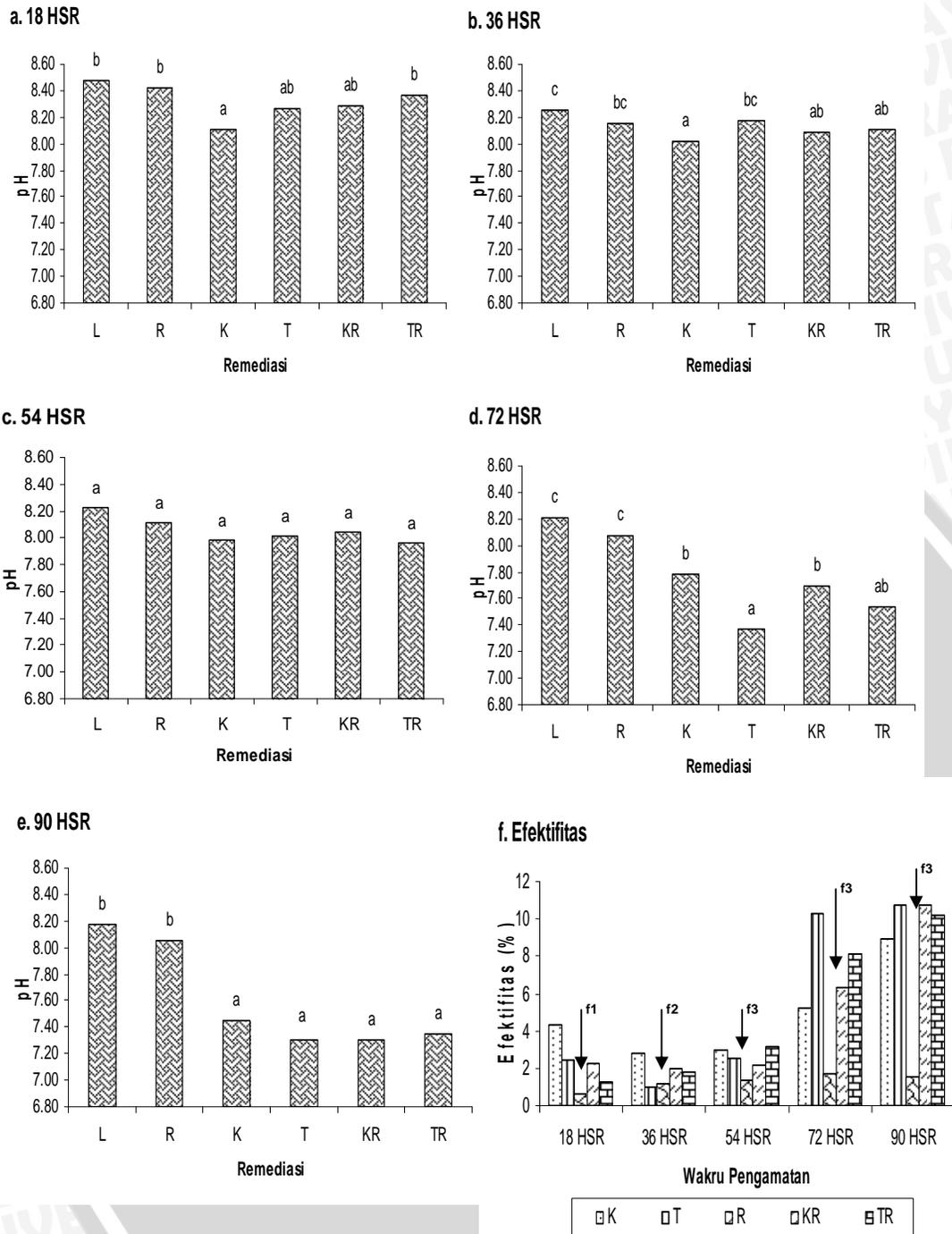
Sistem perakaran tanaman terbukti kurang efektif dalam menurunkan pH dibanding media padat (kerikil dan tanah) pada 18 HSR, 36 HSR dan 54 HSR (Gambar 5a, 5b dan 5c). Nilai pH terbaik pada 18 HSR, 36 HSR, 54 HSR dan 90 HSR terdapat pada remediasi K (8,11), K (8,02), TR (7,96), T (7,37) dan T dan KR (7,30). Nilai pH remediasi KR (kerikil dan *Cyperus alternifolius*) pada 90 HSR lebih baik dari IPAL yang mempunyai pH sebesar 8,23 (Lampiran 1c). Ke duanya, hasil remediasi dan IPAL memenuhi standar baku mutu air Golongan D untuk nilai pH yaitu 5 – 9.

Remediasi terhadap pH limbah cair pabrik penyamakan kulit berjalan efektif setelah 72 hari setelah proses remediasi (Gambar 5f). Remediasi dengan kombinasi media padat (kerikil) dan tanaman (*Cyperus alternifolius*) lebih efektif dari remediasi dengan media tanaman (*Cyperus alternifolius*). Efektifitas remediasi tertinggi pada 18 HSR, 36 HSR, 54 HSR dan 90 HSR masing-masing terdapat pada remediasi K (4,33%), K (2,83%), TR (3,16%), T (10,27%) dan T dan KR (10,72%).

Nilai pH pada semua remediasi menunjukkan penurunan termasuk kontrol. Adanya media padat (kerikil dan tanah) memungkinkan untuk mengurangi kekeruhan limbah dan akan memisahkan bakteri dalam limbah. Bagian yang terpisah tersebut akan terakumulasi pada bagian teratas permukaan kerikil dan tanah. Luas permukaan yang besar dari kerikil maupun tanah akan memberikan kesempatan yang lebih besar bagi mikroorganisme untuk tumbuh di permukaannya. Mikroorganisme tersebut akan melakukan penguraian secara biokimia terhadap bahan organik dan anorganik yang terdapat dalam air limbah (Suriawiria, 2005).

Penurunan nilai pH pada remediasi kombinasi media padat dengan tanaman disebabkan karena bahan organik dan anorganik telah disaring atau diikat oleh akar tanaman sehingga memudahkan mikroorganisme perombak dalam proses pendekomposisinya. Bahan organik yang telah disaring atau diikat oleh akar *Cyperus alternifolius* didekomposisi oleh mikroorganisme menjadi CO₂, air dan senyawa sederhana yaitu asam amino dan asam lemak (asam organik) hingga diperoleh nitrat. Dengan terbentuknya asam organik hasil pemecahan protein dan lemak, maka pH akan terus menurun mendekati pH netral (Gintings, 1992).

pH air berfluktuasi mengikuti kadar CO₂ terlarut dan memiliki pola hubungan terbalik, semakin tinggi kandungan CO₂, maka pH akan menurun dan demikian pula sebaliknya. CO₂ dilepaskan selama respirasi dan dimanfaatkan untuk fotosintesis, sisa CO₂ yang tidak digunakan akan larut dalam air sehingga membentuk asam karbonat (H₂CO₃). Yang kemudian asam karbonat akan terdisosiasi menyebabkan terionisasi H⁺ dan diikuti penurunan pH (Rosmarkam, 2002). Hal ini juga didukung pernyataan Hermawati *et.al* (2005) yang menyebutkan bahwa sumber dari ion hidrogen pada perairan alami adalah asam karbonat dalam berbagai bentuk. Ion hidrogen merupakan sumber keasaman, sehingga adanya asam karbonat akan menyebabkan pH menjadi rendah. Kadar pH yang baik sekitar 7 – 8,5 adalah kadar yang masih memungkinkan kehidupan organisme akuatik agar dapat berjalan dengan baik (Gintings, 1992).



Gambar 5. Grafik Perubahan Nilai pH Pada Berbagai Perlakuan Remediasi

Keterangan: L: kontrol; K: kerikil; T: tanah; R: *Cyperus alternifolius*; KR: kerikil dan *Cyperus alternifolius*; TR: tanah dan *Cyperus alternifolius*.

Waktu pengamatan: HSR (Hari Setelah Remediasi)

f1: Enceng gondok dan Melati air; f2: Enceng gondok dan Melati air mati; f3: *Cyperus alternifolius*

4.1.2 Nilai Natrium (Na)

Hasil analisis ragam (Lampiran 4) menunjukkan bahwa berbagai macam remediasi berpengaruh nyata (taraf 5%) terhadap rerata nilai Na pada 90 HSR. Perubahan Na selama lima kali pengamatan tersaji pada Gambar 6. Nilai Na awal limbah cair sebelum remediasi yaitu sebesar 740 mg/L (Lampiran 2b). Dari Gambar 6 diketahui bahwa setelah mengalami remediasi nilai Na menurun pada semua proses remediasi termasuk kontrol (L).

Sistem perakaran tanaman terbukti kurang efektif dalam menurunkan nilai Na dibanding media padat (kerikil dan tanah) pada 18 HSR, 36 HSR dan 54 HSR (Gambar 6a, 6b dan 6c). Nilai Na terbaik pada 18 HSR, 36 HSR, 54 HSR dan 90 HSR terdapat pada remediasi KR (241,33 mg/L), TR (291,36 mg/L), TR (219,88 mg/L), KR (219,88 mg/L) dan KR (97,35 mg/L). Nilai Na remediasi KR (kerikil dan *Cyperus alternifolius*) pada 90 HSR lebih baik dari IPAL yang mempunyai Na 889,87 mg/L (Lampiran 1c). Ke duanya, hasil remediasi dan IPAL belum memenuhi standar baku mutu air Golongan D untuk nilai Na yaitu 60 mg/L.

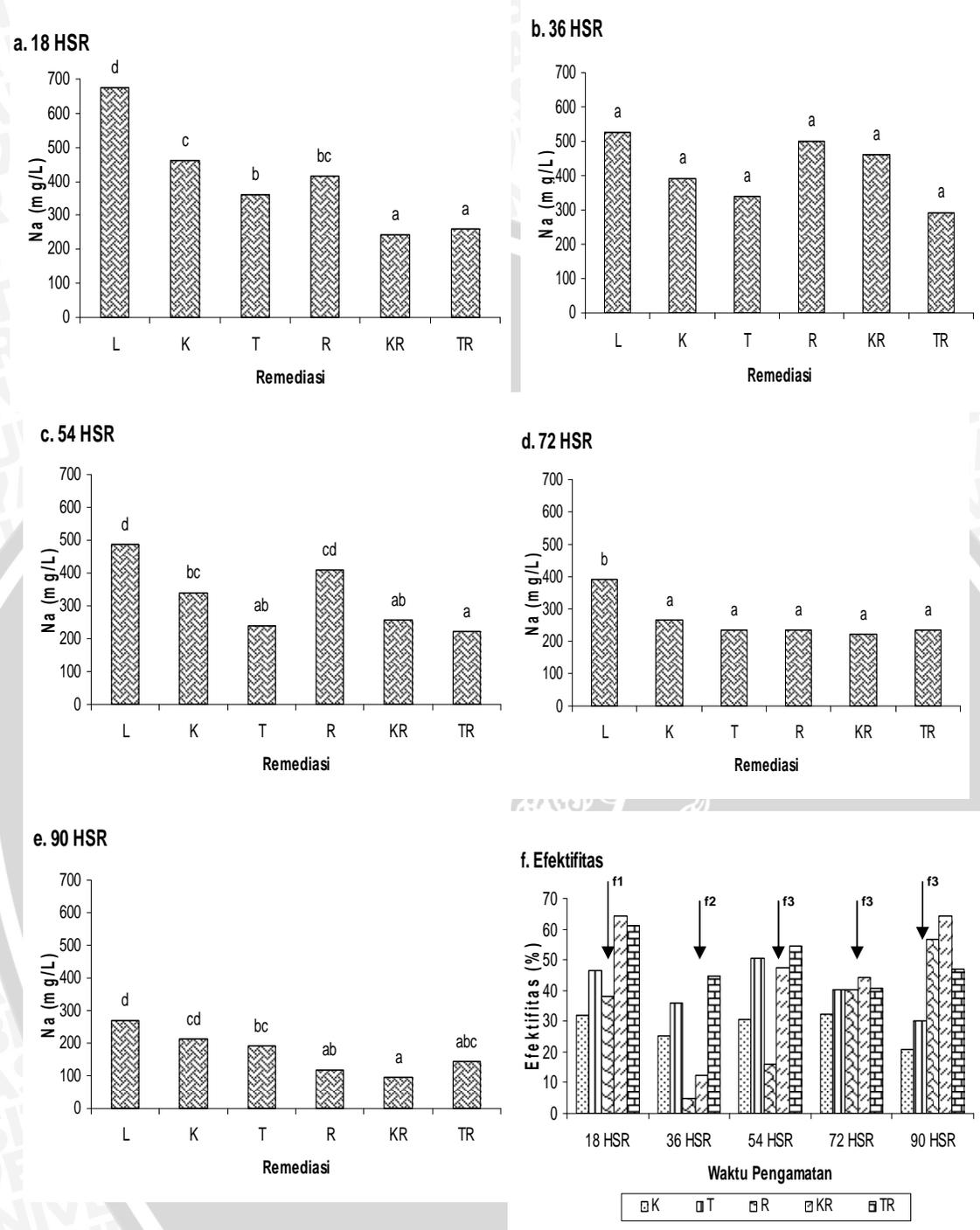
Remediasi terhadap Na limbah cair pabrik penyamakan kulit berjalan efektif setelah 72 hari setelah proses remediasi (Gambar 6f). Remediasi dengan kombinasi media padat (kerikil) dan tanaman (*Cyperus alternifolius*) lebih efektif dari remediasi dengan media tanaman (*Cyperus alternifolius*). Efektifitas remediasi tertinggi pada 18 HSR, 36 HSR, 54 HSR dan 90 HSR terdapat pada remediasi KR (64,16%), TR (44,63%), TR (54,70%), KR (44,12%) dan KR (64,07%).

Nilai Na pada semua remediasi menunjukkan penurunan termasuk kontrol. Penurunan nilai Na mulai terjadi pada 54 HSR sampai 90 HSR, sedangkan pada 36 HSR nilai Na mengalami kenaikan dari 18 HSR untuk remediasi yang menggunakan tanaman *Cyperus alternifolius*. Penyebab kenaikan nilai Na pada 36 HSR yaitu tanaman Enceng gondok yang digunakan sebagai pengolah limbah tidak dapat mengolah limbah karena semua tanaman mati. Sehingga ditanam tanaman baru yaitu *Cyperus alternifolius* sehingga menyebabkan Na menjadi bertambah karena tidak dimanfaatkan. Sedangkan pada pengamatan 54 HSR terjadi penurunan Na dikarenakan tanaman pengganti (*Cyperus alternifolius*)

dalam proses adaptasinya menggunakan Na untuk memelihara turgor dan pertumbuhannya. Selain itu, Na bermanfaat untuk tanaman dalam membantu jaringan tanaman pada proses pengangkutan CO₂ ke sel seludang berkas yang merupakan tempat direduksinya CO₂ menjadi karbohidrat (Salisbury *et al.*, 1995^a).

Nilai Na pada pengamatan 90 HSR terendah terdapat pada remediasi wetland (KR). Hal ini dikarenakan adanya kerjasama antara tanaman dan kerikil. Dimana permukaan kerikil dijadikan tempat hidup mikroorganisme untuk merombak bahan-bahan yang terkandung dalam limbah cair. Menurut Salisbury *et al.* (1995^b) bahwa salah satu jenis mikroorganisme dari genus *Halobacterium* (prokariot) menimbun garam dalam jumlah besar ke dalam selnya dan tidak dapat bertahan hidup kecuali di lingkungan bergaram. Tanaman juga memanfaatkan Na untuk pertumbuhannya. Na merupakan salah satu bentuk garam, sehingga diduga dengan adanya *Halobacterium* bersama dengan tanaman menyebabkan Na dalam limbah menjadi berkurang. Begitu juga dengan remediasi L (kontrol), K (kerikil) dan T (tanah), meskipun tanpa tanaman kandungan Na juga menurun sampai 90 HSR.

Nilai Na remediasi T (tanah) dan TR (tanah dan *Cyperus alternifolius*) pada pengamatan 90 HSR seharusnya bisa menurunkan Na lebih baik dari R, K dan KR, tetapi ini tidak dijumpai dari hasil analisis. Diduga bahwa ion Na tidak diikat oleh kompleks jerapan tanah karena adanya persaingan dengan kation-kation lain seperti Ca²⁺ dan Mg²⁺. Menurut Soepardi (1983) yang menyatakan bahwa urutan kation dari yang paling kuat terjerap sampai yang paling lemah terjerap pada daerah basah yaitu Ca>Mg>K>Na. Bahwa Ca dan Mg lebih kuat terjerap sehingga Na tetap berada dalam air karena kekuatan jerapannya lebih lemah dari Ca dan Mg. Oleh karena itu pada saat analisis Na pada remediasi T dan TR lebih banyak dari remediasi lain.



Gambar 6. Grafik Perubahan Nilai Na Pada Berbagai Perlakuan Remediasi

Keterangan: L: kontrol; K: kerikil; T: tanah; R: *Cyperus alternifolius*; KR: kerikil dan *Cyperus alternifolius*; TR: tanah dan *Cyperus alternifolius*.

Waktu pengamatan: HSR (Hari Setelah Remediasi)

f1: Enceng gondok dan Melati air; f2: Enceng gondok dan Melati air mati; f3: *Cyperus alternifolius*

4.1.3 Nilai Sodium Absorbtion Ratio (SAR)

Hasil analisis ragam (Lampiran 4) menunjukkan bahwa berbagai remediasi berpengaruh nyata (taraf 5%) terhadap rata-rata nilai SAR pada 90 HSR. Perubahan rerata SAR selama lima kali pengamatan tersaji pada Gambar 7. Nilai SAR awal limbah cair sebelum perlakuan yaitu sebesar 49,08 mg/L (Lampiran 1b). Dari Gambar 7 diketahui bahwa setelah mengalami remediasi nilai SAR menurun pada semua perlakuan termasuk kontrol (L).

Sistem perakaran tanaman terbukti kurang efektif terhadap penurunan nilai SAR dibanding media padat (kerikil dan tanah) pada 18 HSR, 36 HSR dan 54 HSR (Gambar 7a, 7b dan 7c). Nilai SAR terbaik pada 18 HSR, 36 HSR, 54 HSR dan 90 HSR terdapat pada remediasi KR (22,16 mg/L), TR (25,29 mg/L), TR (12,71 mg/L), KR (12,91 mg/L) dan KR (7,09 mg/L). Nilai SAR remediasi KR (kerikil dan *Cyperus alternifolius*) pada 90 HST lebih baik dari IPAL yang mempunyai SAR 49,08 mg/L (Lampiran 1c). Ke duanya, remediasi dan IPAL belum memenuhi standar baku mutu air Golongan D untuk nilai SAR yaitu 1,5 – 2,5 mg/L.

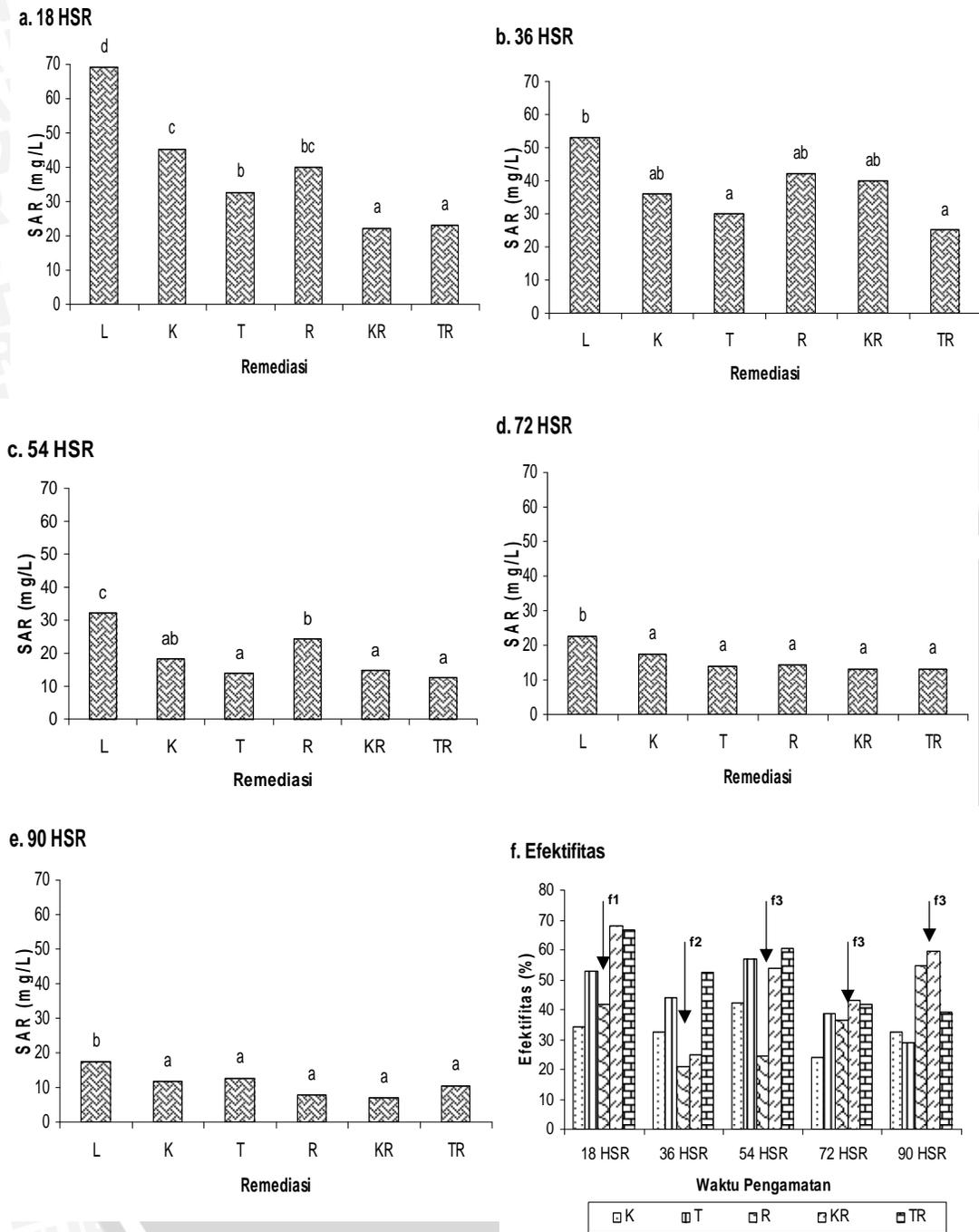
Remediasi terhadap SAR limbah cair pabrik penyamakan kulit berjalan efektif setelah 72 hari setelah proses remediasi (Gambar 7f). Remediasi dengan kombinasi media padat (kerikil) dan tanaman (*Cyperus alternifolius*) lebih efektif dari remediasi dengan media tanaman (*Cyperus alternifolius*). Efektifitas remediasi tertinggi pada 18 HSR, 36 HSR, 54 HSR dan 90 HSR terdapat pada remediasi KR (67,87%), TR(52,49%), TR (60,38%), KR (43,19%) dan KR (59,40%).

Nilai SAR pada semua remediasi menunjukkan penurunan termasuk kontrol. Penurunan nilai SAR mulai terjadi pada 54 HSR sampai 90 HSR, sedangkan pada 36 HSR nilai SAR mengalami kenaikan dari 18 HSR untuk remediasi yang menggunakan tanaman *Cyperus alternifolius*. Pola kenaikan dan penurunan nilai SAR sama dengan Na, karena Na bersama dengan Ca dan Mg merupakan faktor penentu dalam perhitungan SAR. Hubungan ke tiganya terdapat dalam persamaan perhitungan SAR. Sehingga semakin besar nilai Na maka nilai

SAR juga semakin besar. Sesuai dengan pernyataan Halliwell *et al.* (2001) bahwa Na^+ , NaHCO_3 , NaSO_4^- , Mg^{2+} , MgSO_4 , MgHCO_3^- , Ca^{2+} , CaSO_4 dan CaHCO_3^+ dapat mempengaruhi nilai SAR.

Tanaman *Cyperus alternifolius* menggunakan Na untuk memelihara turgor dan pertumbuhannya. Unsur Na juga membantu dalam proses transportasi dalam tubuh tanaman sehingga hasil-hasil fotosintesis dapat dibawa dan diakumulasi pada tempat-tempat penyimpanan (Anonymous, 2009). Unsur lain dalam SAR yaitu Ca dan Mg. Menurut Hardjowigeno (2007) bahwa fungsi Ca dalam tanaman yaitu sebagai penyusun dinding-dinding sel tanaman, untuk pembelahan sel dan untuk pertumbuhan tanaman. Sedangkan Mg berperan dalam pembentukan klorofil, untuk pembentukan enzim dan untuk pembentukan minyak. Hal inilah yang menyebabkan penurunan SAR pada semua remediasi, karena tanaman memanfaatkan Na, Ca dan Mg untuk metabolisme tubuhnya sehingga kadarnya dalam limbah menjadi berkurang.

Pada remediasi yang tidak menggunakan tanaman *Cyperus alternifolius* seperti L (kontrol), K(kerikil) dan T (tanah), nilai SAR juga menurun. Bahwa di dalamnya terdapat mikroorganisme yang memanfaatkan Na, Ca dan Mg. Hal tersebut terjadi karena di dalam air baik air jernih sampai air kotor seperti air limbah, di dalamnya terdapat sejumlah kehidupan seperti bakteri. Untuk keperluan hidupnya, bakteri memerlukan bahan-bahan organik dan anorganik yang diambil dari lingkungannya. Bakteri menggunakan unsur-unsur seperti K, Ca, Mg, Na, Cl sebagai sumber mineral untuk menyusun komponen selnya, pengatur tekanan osmosa, kadar ion hidrogen, permeabilitas dan tekanan oksidasi-reduksi medium (Suriawiria, 2003).



Gambar 7. Grafik Perubahan Nilai SAR Pada Berbagai Perlakuan Remediasi

Keterangan: L: kontrol; K: kerikil; T: tanah; R: *Cyperus alternifolius*; KR: kerikil dan *Cyperus alternifolius*; TR: tanah dan *Cyperus alternifolius*.

Waktu pengamatan: HSR (Hari Setelah Remediasi)

f1: Enceng gondok dan Melati air; f2: Enceng gondok dan Melati air mati; f3: *Cyperus alternifolius*

4.1.4 Nilai Total Dissolved Solution (TDS)

Hasil analisis ragam (Lampiran 4) menunjukkan bahwa berbagai remediasi berpengaruh nyata (taraf 5%) terhadap rata-rata nilai TDS pada 90 HSR. Perubahan rerata TDS selama lima kali pengamatan tersaji pada Gambar 8. Nilai TDS awal limbah cair sebelum perlakuan yaitu sebesar 14,480 mg/L (Lampiran 1b). Dari Gambar 8 diketahui bahwa setelah mengalami remediasi nilai TDS menurun pada semua remediasi termasuk kontrol (L).

Sistem perakaran tanaman terbukti kurang efektif terhadap penurunan TDS dibanding media padat (kerikil dan tanah) pada 18 HSR, 36 HSR dan 54 HSR (Gambar 8a, 8b dan 8c). Nilai TDS terbaik pada 18 HSR, 36 HSR, 54 HSR dan 90 HSR terdapat pada remediasi TR (7372 mg/L), T (7967,33 mg/L), TR (4813,33 mg/L), KR (3830,15 mg/L) dan KR (2292,67 mg/L). Nilai TDS remediasi KR pada 90 HSR lebih baik dari IPAL yang mempunyai TDS yaitu 7667,53 mg/L (Lampiran 1c). Ke duanya, remediasi dan IPAL belum memenuhi standar baku mutu air Golongan D untuk nilai TDS yaitu 1000 mg/L.

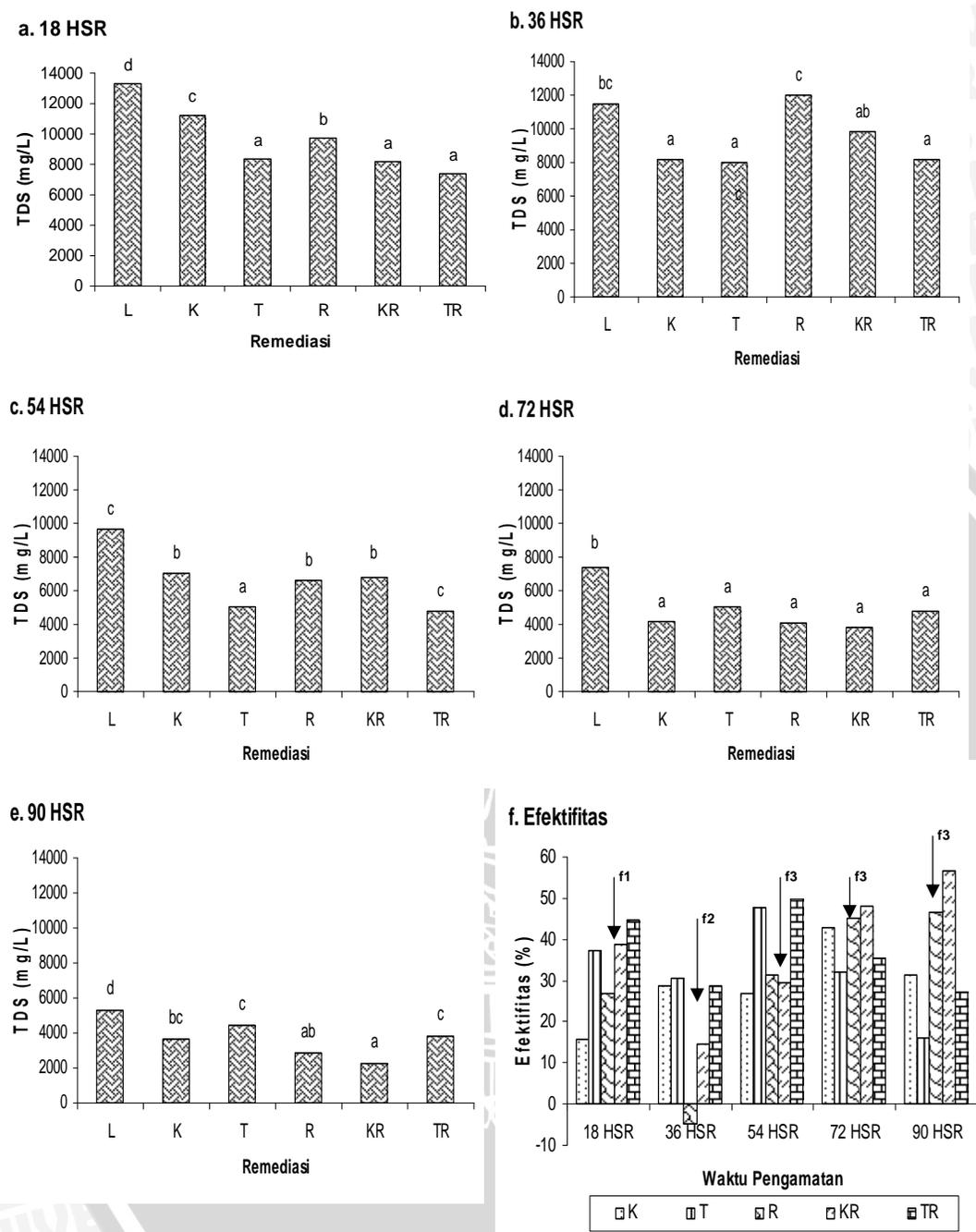
Remediasi terhadap TDS limbah cair pabrik penyamakan kulit berjalan efektif setelah 72 hari setelah proses remediasi (Gambar 8f). Remediasi dengan kombinasi media padat (kerikil) dan tanaman (*Cyperus alternifolius*) lebih efektif dari remediasi dengan media tanaman (*Cyperus alternifolius*). Efektifitas remediasi tertinggi pada 18 HSR, 36 HSR, 54 HSR dan 90 HSR terdapat pada remediasi TR (44,65%), T (30,59%), TR (50%), KR (48,15%) dan KR (56,82%). Grafik efektifitas perlakuan R pada 36 HSR negatif karena hasil analisis remediasi R lebih besar dari kontrol (L).

Nilai TDS pada semua remediasi menunjukkan penurunan termasuk kontrol. Penurunan nilai TDS mulai terjadi pada 54 HSR sampai 90 HSR, sedangkan pada 36 HSR nilai TDS mengalami kenaikan dari 18 HSR untuk remediasi yang menggunakan tanaman *Cyperus alternifolius*. Pola kenaikan dan penurunan nilai TDS sama dengan pola Na dan SAR. Hal ini terjadi karena kontribusi partikel Na, Ca dan Mg yang termasuk dalam perhitungan SAR menjadi penyebab terbentuknya TDS. Sesuai dengan pernyataan Irianto (2004) bahwa TDS terbentuk dari persenyawaan yang terdiri dari berbagai molekul yang

mengandung kation (Na, K, Ca, Mg) dan anion (Cl, SO₄, NO₃, alkalinitas). Sehingga bertambah dan berkurangnya Na dan SAR mempengaruhi nilai TDS.

Adanya kerikil dan tanaman pada remediasi wetland (KR) mampu menciptakan kondisi yang sesuai bagi mikroorganisme. Adanya media padat (kerikil dan tanah) memungkinkan untuk mengurangi kekeruhan limbah dan akan memisahkan bakteri dalam limbah. Luas permukaan yang besar dari kerikil maupun tanah akan memberikan kesempatan yang lebih besar bagi mikroorganisme untuk tumbuh di permukaannya. Mikroorganisme tersebut akan melakukan penguraian secara biokimia terhadap bahan organik dan anorganik yang terdapat dalam air limbah (Suriawiria, 2005). Adanya tanaman mampu menyerap senyawa-senyawa organik dan anorganik secara aktif melalui akar. Perakaran tanaman menjadi tempat yang ideal bagi pelekatan mikroorganisme yang berperan dalam biodegradasi materi pencemar dalam air (Priyanto, 2005). Adanya mikroorganisme yang berasosiasi di permukaan akar membuat tanaman menyerap semakin banyak bahan terlarut dalam limbah sehingga TDS berkurang.

Remediasi T (tanah) dan TR (tanah dan *Cyperus alternifolius*) efektif mengurangi TDS hanya terdapat pada 18 dan 36 HSR. Pada pengamatan 72 dan 90 HSR nilai TDS remediasi T dan TR lebih besar dari remediasi R, K dan KR meskipun sama-sama terjadi penurunan nilai TDS. Diduga bahwa tanah telah jenuh sehingga kemampuan menyerap dan mengolah limbah sudah tidak optimal. Hal tersebut didukung pernyataan Sipayung (2003) yang menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi garam terlarut di dalam tanah akan meningkatkan tekanan osmotik sehingga menghambat penyerapan air dan unsur-unsur hara yang berlangsung secara osmosis.



Gambar 8. Grafik Perubahan Nilai TDS Pada Berbagai Perlakuan Remediasi

Keterangan: L: kontrol; K: kerikil; T: tanah; R: *Cyperus alternifolius*; KR: kerikil dan *Cyperus alternifolius*; TR: tanah dan *Cyperus alternifolius*.

Waktu pengamatan: HSR (Hari Setelah Remediasi)

f1: Enceng gondok dan Melati air; f2: Enceng gondok dan Melati air mati; f3: *Cyperus alternifolius*

4.1.5 Nilai Daya Hantar Listrik (DHL)

Hasil analisis ragam (Lampiran 4) menunjukkan bahwa berbagai remediasi berpengaruh nyata (taraf 5%) terhadap rata-rata nilai DHL pada 90 HSR. Perubahan rerata DHL selama lima kali pengamatan tersaji pada Gambar 9. Nilai DHL awal limbah cair sebelum perlakuan yaitu sebesar 113.300 $\mu\text{mhos/cm}$ (Lampiran 1b). Dari Gambar 9 diketahui bahwa setelah mengalami remediasi nilai DHL menurun pada semua remediasi termasuk kontrol (L).

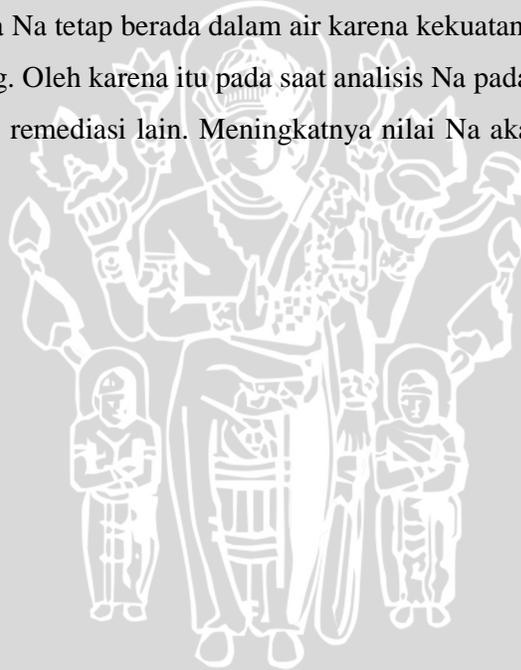
Sistem perakaran tanaman terbukti kurang efektif terhadap penurunan DHL dibanding media padat (kerikil dan tanah) pada 18 HSR, 36 HSR dan 54 HSR (Gambar 9a, 9b dan 9c). Nilai DHL terbaik pada 18 HSR, 36 HSR, 54 HSR dan 90 HSR terdapat pada remediasi TR (22400 $\mu\text{mhos/cm}$), T (21600 $\mu\text{mhos/cm}$), KR (22266,67 $\mu\text{mhos/cm}$), KR (12366,67 $\mu\text{mhos/cm}$) dan KR (9233,33 $\mu\text{mhos/cm}$). Nilai DHL remediasi KR pada 90 HSR lebih baik dari IPAL yang mempunyai nilai DHL sebesar 89200 $\mu\text{mhos/cm}$ (Lampiran 1c). Ke duanya, hasil remediasi dan IPAL belum memenuhi standar baku mutu air Golongan D untuk nilai DHL yaitu 2250 $\mu\text{mhos/cm}$.

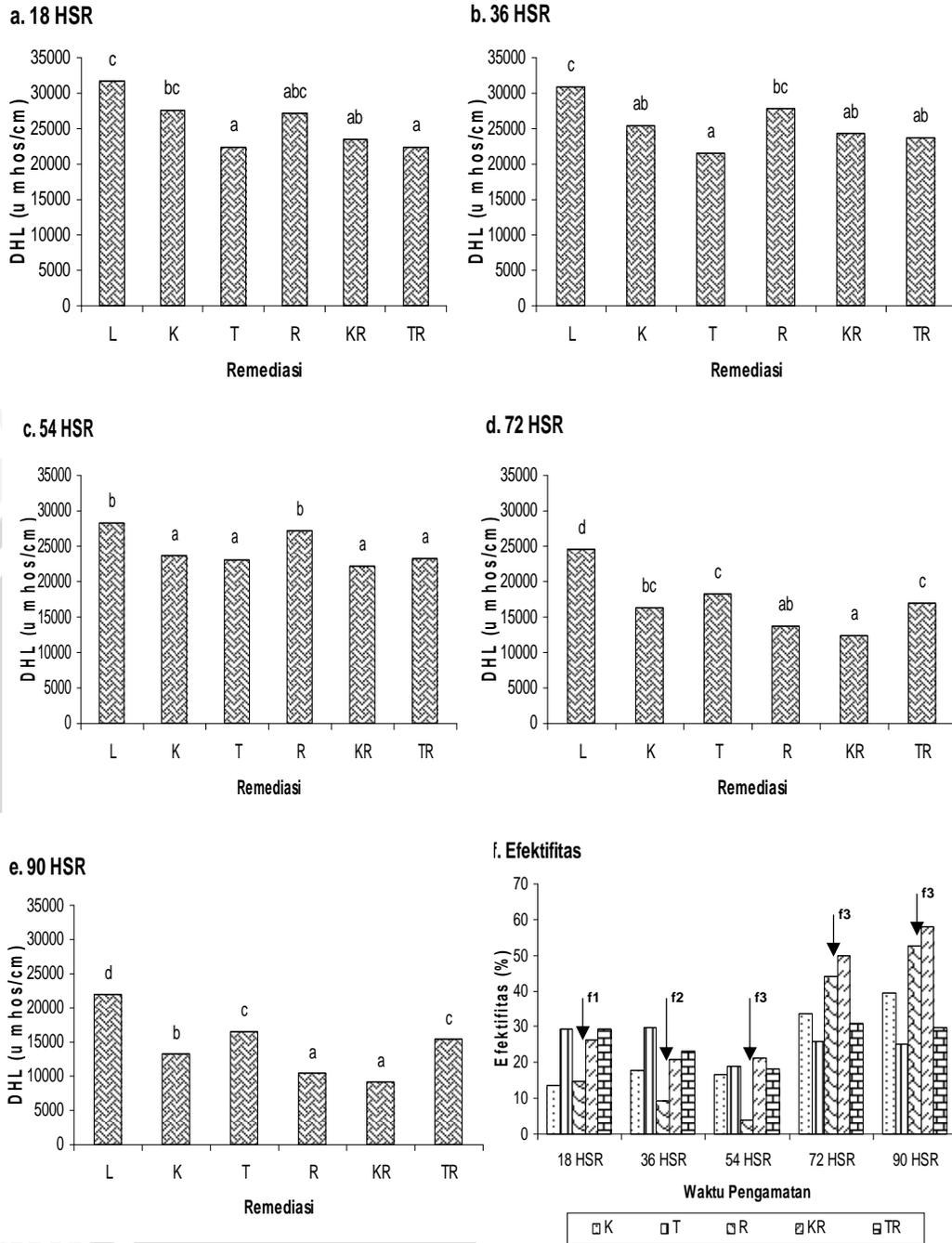
Remediasi terhadap DHL limbah cair pabrik penyamakan kulit berjalan efektif setelah 72 hari setelah proses remediasi (Gambar 9f). Remediasi dengan kombinasi media padat (kerikil) dan tanaman (*Cyperus alternifolius*) lebih efektif dari remediasi dengan media tanaman (*Cyperus alternifolius*). Efektifitas remediasi tertinggi pada 18 HSR, 36 HSR, 54 HSR dan 90 HSR terdapat pada remediasi TR (22,56%), T (22,79%), KR (21,41%), KR (49,86%) dan KR (57,97%).

Nilai DHL pada semua remediasi menunjukkan penurunan termasuk kontrol. Penurunan nilai DHL mulai terjadi pada 54 HSR sampai 90 HSR, sedangkan pada 36 HSR nilai DHL mengalami kenaikan dari 18 HSR untuk remediasi yang menggunakan tanaman *Cyperus alternifolius*. Bertambah dan berkurangnya nilai TDS dan Na ikut mempengaruhi nilai DHL. Hal ini didukung dari penelitian Irianto (2004) yang menyatakan bahwa parameter TDS dan Na mempunyai kontribusi cukup besar terhadap DHL yaitu koefisien korelasi TDS adalah 0,94 dan koefisien korelasi Na terhadap DHL adalah 0,91 yang berarti

bahwa peningkatan kadar TDS akan menaikkan nilai DHL. Karena TDS berupa persenyawaan yang terdiri dari berbagai molekul yang mengandung kation dan anion. Berarti bahwa zat-zat mineral yang terkandung dalam TDS sangat berpengaruh terhadap DHL.

Nilai DHL pada semua remediasi menunjukkan penurunan termasuk kontrol. Penurunan nilai DHL mulai terjadi pada 54 HSR sampai 90 HSR, sedangkan pada 36 HSR nilai SAR mengalami kenaikan. Naiknya rerata DHL remediasi tanah (T) pada 54 HSR diduga bahwa ion Na tidak diikat oleh kompleks jerapan tanah karena adanya persaingan dengan kation-kation lain seperti Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Menurut Soepardi (1983) yang menyatakan bahwa Ca dan Mg lebih kuat terjerap sehingga Na tetap berada dalam air karena kekuatan jerapannya lebih lemah dari Ca dan Mg. Oleh karena itu pada saat analisis Na pada remediasi T dan TR lebih banyak dari remediasi lain. Meningkatnya nilai Na akan diikuti dengan meningkatnya DHL.





Gambar 9. Grafik Perubahan Nilai DHL Pada Berbagai Perlakuan Remediasi

Keterangan: L: kontrol; K: kerikil; T: tanah; R: *Cyperus alternifolius*; KR: kerikil dan *Cyperus alternifolius*; TR: tanah dan *Cyperus alternifolius*.

Waktu pengamatan: HSR (Hari Setelah Remediasi)

f1: Enceng gondok dan Melati air; f2: Enceng gondok dan Melati air mati; f3: *Cyperus alternifolius*

4.1.6 Nilai Chemical Oxygen Demand (COD)

Hasil analisis ragam (Lampiran 4) menunjukkan bahwa berbagai remediasi berpengaruh nyata (taraf 5%) terhadap rerata nilai COD pada 90 HSR. Perubahan rerata COD selama lima kali pengamatan tersaji pada Gambar 10. Nilai COD awal limbah cair sebelum remediasi yaitu sebesar 6965 mg/L (Lampiran 1b). Dari Gambar 10 diketahui bahwa setelah mengalami remediasi nilai COD menurun pada semua remediasi termasuk kontrol (L).

Sistem perakaran tanaman terbukti kurang efektif terhadap penurunan COD dibanding media padat (kerikil dan tanah) pada 18 HSR, 36 HSR dan 54 HSR (Gambar 10a, 10b dan 10c). Nilai COD terbaik pada 18 HSR, 36 HSR, 54 HSR dan 90 HSR terdapat pada perlakuan KR (490,23 mg/L), KR (563,33 mg/L), K (521,93 mg/L), KR (412,2 mg/L) dan KR (210,80 mg/L). Nilai COD remediasi KR pada 90 HST lebih baik dari IPAL yang mempunyai COD yaitu 746,25 mg/L (Lampiran 1c). Nilai COD remediasi sudah memenuhi baku mutu limbah cair untuk nilai COD yaitu 250 mg/L. Sedangkan nilai COD IPAL belum memenuhi standar baku mutu.

Remediasi terhadap COD limbah cair pabrik penyamakan kulit berjalan efektif setelah 72 hari setelah proses remediasi (Gambar 10f). Remediasi dengan kombinasi media padat (kerikil) dan tanaman (*Cyperus alternifolius*) lebih efektif dari remediasi dengan media tanaman (*Cyperus alternifolius*). Efektifitas remediasi tertinggi pada 18 HSR, 36 HSR, 54 HSR dan 90 HSR terdapat pada remediasi KR (70,59%), KR (51,20%), K (39,42%), KR (47,61%) dan KR (62,32%). Grafik efektifitas remediasi TR pada 54 HSR negatif karena hasil analisa COD remediasi TR lebih besar dari kontrol (L).

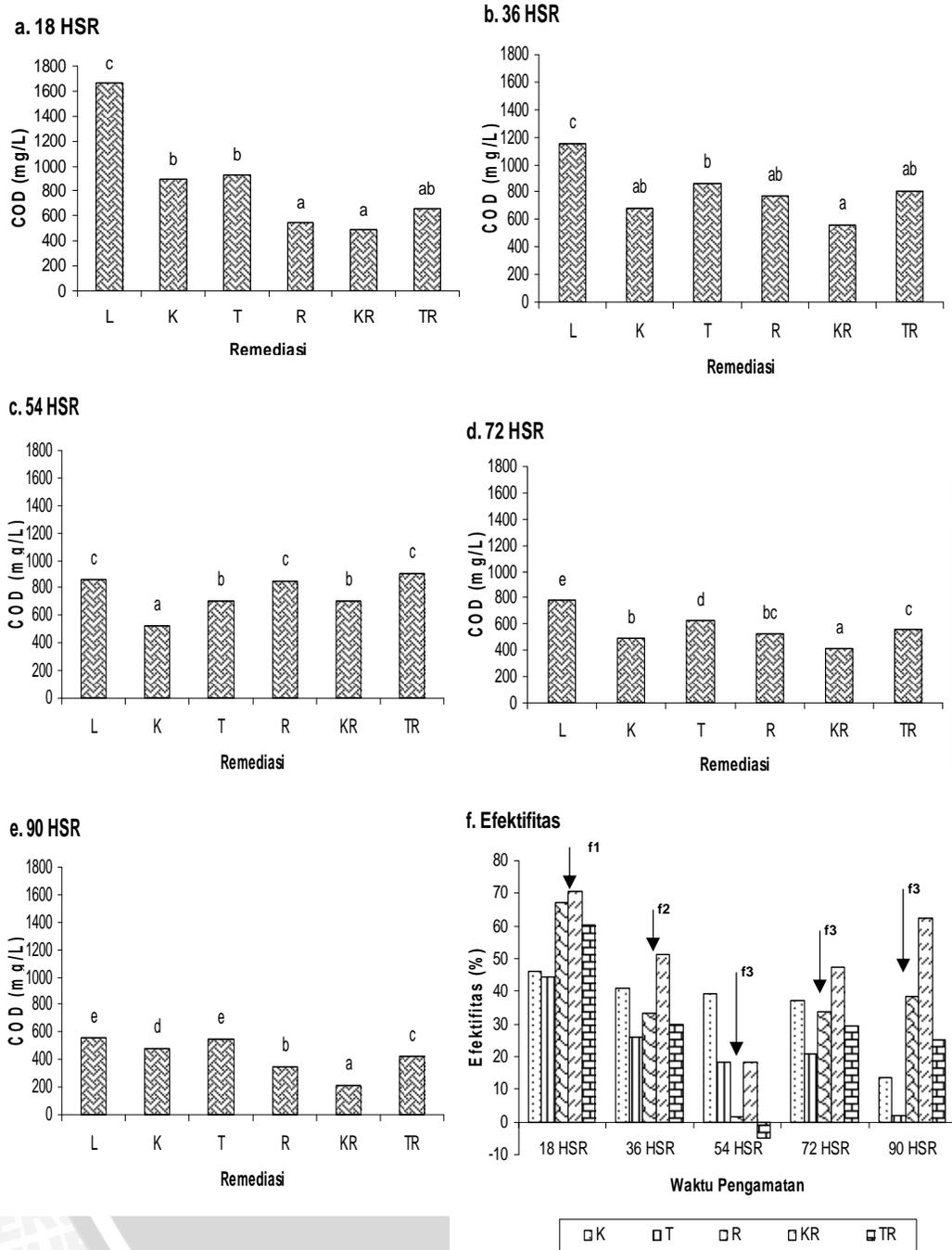
Nilai COD pada semua remediasi menunjukkan penurunan termasuk kontrol. Penurunan nilai COD mulai terjadi pada 72 HSR sampai 90 HSR untuk remediasi yang menggunakan tanaman (R, KR dan TR) sedangkan remediasi yang lain yaitu kerikil (K) dan tanah (T) mengalami penurunan dari 18 HSR sampai 90 HSR termasuk kontrol (L).

Pada pengamatan 36 HSR, nilai COD remediasi R, KR dan TR mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan karena pada pengamatan 36 HSR tanaman Enceng

gondok yang digunakan sebagai pengolah limbah tidak dapat mengolah limbah karena semua tanaman mati. Sehingga ditanam tanaman baru yaitu *Cyperus alternifolius*, oleh karena itu nilai COD mengalami kenaikan. Pada 54 HSR nilai COD juga meningkat, diduga hal ini terjadi karena adanya penumpukan bahan organik dari limbah minggu sebelumnya yang belum terdekomposisi sehingga bahan organik menjadi banyak tersedia. Bahan organik dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber makanan untuk proses dekomposisi. Menurut Sugiharto (2005) bahwa semakin banyak bahan organik yang tersedia maka semakin banyak pula kebutuhan oksigen mikroorganisme untuk mendekomposisi bahan organik dalam limbah sehingga nilai COD bertambah.

Pada pengamatan 72 HSR nilai COD remediasi R, KR dan TR menurun karena *Cyperus alternifolius* mampu mengolah limbah. Hal ini ditandai dengan adanya tumbuhnya tunas artinya tanaman telah mampu menggunakan hasil dekomposisi oleh mikroorganisme untuk pertumbuhannya. Sugiharto (2005) menyatakan bahwa jika bahan organik dapat dicerna dari campuran limbah maka rata-rata kebutuhan oksigen akan menurun. Sehingga terjadi penurunan nilai COD sampai pengamatan 90 HSR.

Mikroorganisme mengkonversi bahan organik menjadi karbondioksida (Asmoro, 2005). Tanaman menggunakan bahan organik dan air dalam limbah serta CO_2 dari hasil dekomposisi mikroorganisme perombak untuk proses fotosintesis. Hal ini menyebabkan bahan organik dalam limbah berkurang sehingga kebutuhan oksigen untuk mendekomposisi bahan organik semakin berkurang. Sehingga mengakibatkan menurunnya aktifitas mikroorganisme dalam mendekomposisi bahan organik yang akhirnya menurunkan kandungan COD pada semua remediasi. Setyawan (2007) menambahkan bahwa mikroorganisme perombak melakukan proses dekomposisi merubah bahan organik menjadi CO_2 dan senyawa sederhana yaitu asam amino dan asam lemak sehingga diperoleh ammonia, nitrat, nitrit dan nitrogen. Sedangkan bahan anorganik (mineral), amonia dan nitrogen diserap oleh akar tanaman sebagai nutrisi untuk pertumbuhannya. Hal ini berdampak pada semakin kecilnya jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mendekomposisi bahan organik.



Gambar 10. Grafik Perubahan Nilai COD Pada Berbagai Perlakuan Remediasi

Keterangan: L: kontrol; K: kerikil; T: tanah; R: *Cyperus alternifolius*; KR: kerikil dan *Cyperus alternifolius*; TR: tanah dan *Cyperus alternifolius*.

Waktu pengamatan: HSR (Hari Setelah Remediasi)

f1: Enceng gondok dan Melati air; f2: Enceng gondok dan Melati air mati; f3: *Cyperus alternifolius*

4.1.7 Nilai Biological Oxygen Demand (BOD)

Hasil analisis ragam (Lampiran 4) menunjukkan bahwa berbagai remediasi berpengaruh nyata (taraf 5%) terhadap rerata nilai BOD pada 90 HSR. Perubahan rerata BOD selama lima kali pengamatan tersaji pada Gambar 11. Nilai BOD awal limbah cair sebelum remediasi yaitu sebesar 1850,8 mg/L (Lampiran 1b). Dari Gambar 11 diketahui bahwa setelah mengalami remediasi nilai BOD menurun pada semua remediasi termasuk kontrol (L).

Sistem perakaran tanaman terbukti kurang efektif terhadap penurunan BOD dibanding media padat (kerikil dan tanah) pada 18 HSR, 36 HSR dan 54 HSR (Gambar 10a, 10b dan 10c). Nilai BOD terbaik pada 18 HSR, 36 HSR, 54 HSR dan 90 HSR terdapat pada perlakuan KR (235 mg/L), KR (334,07 mg/L), K (444,33 mg/L), KR (341,4 mg/L) dan KR (140 mg/L). Nilai BOD remediasi KR pada 90 HSR lebih baik dari IPAL yang mempunyai BOD yaitu 251,20 mg/L (Lampiran 1c). Ke duanya belum memenuhi baku mutu limbah cair untuk nilai BOD yaitu 100 mg/L.

Remediasi terhadap BOD limbah cair pabrik penyamakan kulit berjalan efektif setelah 72 hari setelah proses remediasi (Gambar 10f). Remediasi dengan kombinasi media padat (kerikil) dan tanaman (*Cyperus alternifolius*) lebih efektif dari remediasi dengan media tanaman (*Cyperus alternifolius*). Efektifitas remediasi tertinggi pada 18 HSR, 36 HSR, 54 HSR dan 90 HSR terdapat pada remediasi KR (69,70%), KR (41,50%), K (7,61%), KR (19,05%) dan KR (59,69%). Grafik efektifitas perlakuan BOD pada 54 HST negatif karena hasil analisis BOD remediasi R, T, KR dan TR lebih besar dari kontrol (L).

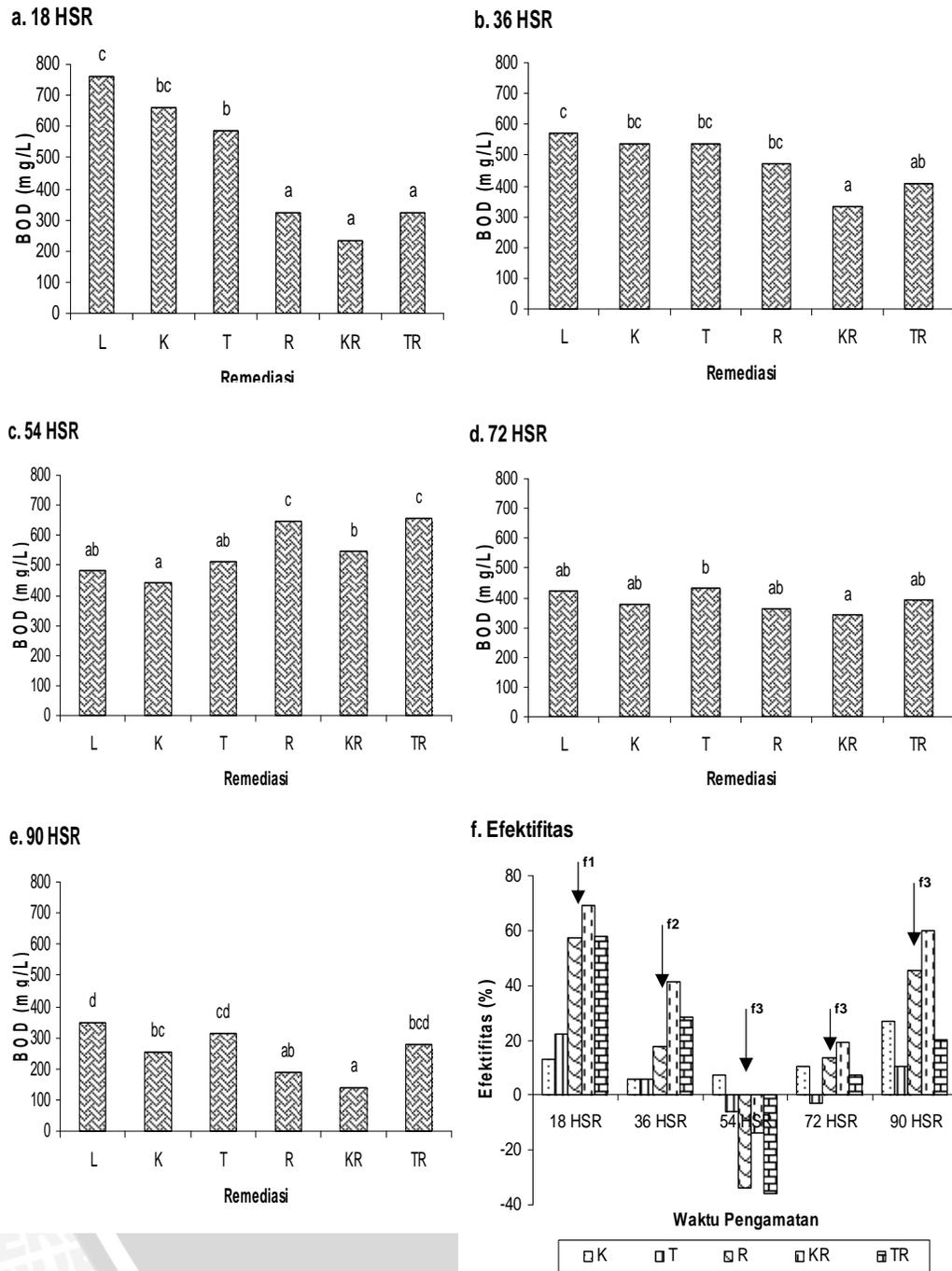
Nilai BOD pada semua remediasi menunjukkan penurunan termasuk kontrol. Penurunan nilai BOD mulai terjadi pada 72 HSR sampai 90 HSR untuk remediasi yang menggunakan tanaman (R, KR dan TR) sedangkan remediasi yang lain (K dan T) mengalami penurunan dari 18 HSR sampai 90 HSR termasuk kontrol (L).

Pada pengamatan 36 HSR, nilai BOD remediasi R, KR dan TR mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan karena pada pengamatan 36 HSR tanaman enceng gondok yang digunakan sebagai pengolah limbah tidak dapat mengolah limbah

karena semua tanaman mati. Sehingga ditanam tanaman baru yaitu *Cyperus alternifolius*, oleh karena itu nilai BOD mengalami kenaikan. Pada 54 HSR nilai BOD juga meningkat, hal ini terjadi karena adanya penumpukan bahan organik dari limbah minggu sebelumnya yang belum terdekomposisi sehingga bahan organik menjadi banyak tersedia. Bahan organik dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber makanan untuk proses dekomposisi. Menurut Sugiharto (2005) bahwa semakin banyak bahan organik yang tersedia maka semakin banyak pula kebutuhan oksigen mikroorganisme untuk mendekomposisi bahan organik dalam limbah sehingga nilai BOD bertambah.

Pada pengamatan 72 HSR nilai BOD remediasi R, KR dan TR menurun karena *Cyperus alternifolius* mampu mengolah limbah. Hal ini ditandai dengan adanya tumbuhnya tunas artinya tanaman telah mampu menggunakan hasil dekomposisi oleh mikroorganisme untuk pertumbuhannya. Sugiharto (2005) menyatakan bahwa jika bahan organik dapat dicerna dari campuran limbah maka rata-rata kebutuhan oksigen akan menurun. Sehingga terjadi pola penurunan nilai BOD sampai pengamatan 90 HSR.

Nilai BOD terendah pada 90 HSR terdapat pada remediasi KR (wetland). Penyebab nilai BOD pada remediasi T (tanah) dan TR (tanah dan *Cyperus alternifolius*) lebih besar dari remediasi L, R, K dan KR yaitu karena tanah Andisol yang digunakan sebagai media pengolah limbah memiliki kandungan C-organik sebesar 3,62 % (Lampiran 2) yang tergolong tinggi. Sehingga bahan organik yang tersedia tidak hanya berasal dari limbah tetapi juga berasal dari tanah itu sendiri, oleh karena itu oksigen yang diperlukan untuk mendekomposisi lebih besar dari perlakuan lain. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Effendi (2003) yang menyatakan bahwa BOD merupakan gambaran kadar bahan organik, yang artinya jika nilai kandungan bahan organik tinggi maka nilai BOD ikut meningkat sehingga jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme aerob untuk mengoksidasi bahan organik juga tinggi.



Gambar 11. Grafik Perubahan Nilai BOD Pada Berbagai Perlakuan Remediasi

Keterangan: L: kontrol; K: kerikil; T: tanah; R: *Cyperus alternifolius*; KR: kerikil dan *Cyperus alternifolius*; TR: tanah dan *Cyperus alternifolius*.

Waktu pengamatan: HSR (Hari Setelah Remediasi)

f1: Enceng gondok dan Melati air; f2: Enceng gondok dan Melati air mati; f3: *Cyperus alternifolius*

4.2 Hubungan Antar Parameter Kualitas Air Limbah

Hubungan antar parameter kualitas air limbah penyamakan kulit ditunjukkan dalam nilai korelasi (r). Berdasarkan hasil korelasi (Lampiran 5), menunjukkan bahwa nilai pH berkorelasi positif terhadap nilai Na ($r = 0,660^{**}$), SAR ($r = 0,648^{**}$), TDS ($r = 0,710^{**}$), DHL ($r = 0,727^{**}$), COD ($r = 0,567^{**}$), dan BOD ($r = 0,579^{**}$). Derajat keasaman (pH) sangat penting sebagai parameter kualitas air karena mengontrol tipe dan laju kecepatan reaksi beberapa parameter di dalam air. Derajat keasaman (pH) menentukan aktivitas mikroorganisme dalam air, pada pH sekitar 6,5 – 8,3 aktivitas mikroorganisme sangat baik (Darsono, 2007). Derajat keasaman (pH) yang mendukung akan meningkatkan aktivitas mikroorganisme dalam merombak bahan organik dan anorganik. Onrizal (2005) menyatakan bahwa proses penyerapan bahan-bahan organik dan anorganik oleh mikroorganisme lebih efektif dengan kehadiran pH tertentu.

Nilai Na juga berkorelasi positif dengan SAR ($r = 0,940^{**}$). Peningkatan dan penurunan nilai Na sama dengan SAR, karena Na bersama dengan Ca dan Mg merupakan faktor penentu dalam perhitungan SAR. Hubungan ke tiganya terdapat dalam persamaan perhitungan SAR. Sehingga semakin besar nilai Na maka nilai SAR juga semakin besar. Sesuai dengan pernyataan Halliwell *et al.* (2001) bahwa Na^+ , NaHCO_3 , NaSO_4^- , Mg^{2+} , MgSO_4 , MgHCO_3^- , Ca^{2+} , CaSO_4 dan CaHCO_3^+ dapat mempengaruhi nilai SAR.

Nilai Na berkorelasi positif dengan TDS ($r = 0,926^{**}$), yang berarti bahwa nilai Na juga mempengaruhi nilai TDS. Hal ini terjadi karena kontribusi partikel Na, Ca dan Mg yang termasuk dalam perhitungan SAR menjadi penyebab terbentuknya TDS. Hal tersebut juga didukung dengan pernyataan Irianto (2004) yang menyatakan bahwa TDS terbentuk dari persenyawaan yang terdiri dari berbagai molekul yang mengandung kation (Na, K, Ca, Mg) dan anion (Cl, SO_4 , NO_3 , alkalinitas). Sehingga bertambah dan berkurangnya Na dan SAR mempengaruhi nilai TDS.

Nilai Na berkorelasi positif dengan DHL ($r = 0,873^{**}$), artinya bertambah dan berkurangnya nilai TDS dan Na ikut mempengaruhi nilai DHL. Hal ini didukung dari penelitian Irianto (2004) yang menyatakan bahwa parameter TDS

dan Na mempunyai kontribusi cukup besar terhadap DHL yaitu koefisien korelasi TDS adalah 0,94 dan koefisien korelasi Na terhadap DHL adalah 0,91 yang berarti bahwa peningkatan kadar TDS akan menaikkan nilai DHL. Karena TDS berupa persenyawaan yang terdiri dari berbagai molekul yang mengandung kation dan anion. Berarti bahwa zat-zat mineral yang terkandung dalam TDS sangat berpengaruh terhadap DHL.

Nilai Na berkorelasi positif dengan COD ($r = 0,792^{**}$) dan BOD ($r = 0,669^{**}$). Bahan organik dan anorganik dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber makanan untuk proses dekomposisi. Dalam aktivitasnya mikroorganisme membutuhkan oksigen, tingkat kebutuhan tersebut ditunjukkan dalam nilai COD dan BOD dalam limbah. Semakin tinggi bahan organik dan anorganik maka semakin tinggi kebutuhan oksigen, semakin tinggi pula COD dan BOD (Sugiharto, 2005). Adanya korelasi positif antara Na dengan COD dan BOD menunjukkan bahwa peningkatan dan penurunan Na juga berpengaruh terhadap COD dan BOD. Untuk keperluan hidupnya, bakteri memerlukan bahan-bahan organik dan anorganik yang diambil dari lingkungannya. Bakteri menggunakan unsur-unsur seperti K, Ca, Mg, Na, Cl sebagai sumber mineral untuk menyusun komponen selnya, pengatur tekanan osmosa, kadar ion hidrogen, permeabilitas dan tekanan oksidasi-reduksi medium (Suriawiria, 2003).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil remediasi limbah cair penyamakan kulit dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Fitoremediasi yang menggunakan tanaman *Cyperus alternifolius* lebih efektif menurunkan nilai Na, SAR, TDS, DHL, COD dan BOD daripada remediasi yang menggunakan media padat (kerikil dan tanah) pada 90 hari setelah remediasi.
2. Hasil remediasi terbaik terdapat pada remediasi wetland (kombinasi media kerikil dengan tanaman *Cyperus alternifolius*) mampu menurunkan nilai pH (10,72%), Na (64,07%), SAR (59,40%), TDS (56,82%), DHL (57,97%), COD (62,32%) dan BOD (59,69%) pada 90 hari setelah remediasi.
3. Remediasi wetland (kombinasi media kerikil dengan tanaman *Cyperus alternifolius*) dalam penelitian lebih baik dari IPAL (Instalasi Pengolah Air Limbah) pabrik pada semua parameter yaitu parameter pH, Na, SAR, TDS, DHL, COD dan BOD pada 90 hari setelah remediasi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian penulis, disarankan bahwa:

1. Sebelum diadakan penelitian sebaiknya perlu dibuat daftar tanaman yang toleran terhadap unsur-unsur pencemar, agar hasil remediasi dapat maksimal.
2. Dalam penelitian penggunaan kerikil memberikan hasil remediasi terbaik tetapi kualitas limbah masih belum memenuhi baku mutu. Sehingga dalam penelitian selanjutnya diperlukan pemilihan media lain yang mempunyai kondisi permukaan yang sesuai untuk perkembangan mikroorganisme.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 2003^a. Pemanfaatan Limbah. <http://www.menlh.go.id/usaha-kecil/index-view.php?sub=7> (Diakses pada tanggal 14 Maret 2008)
- Anonymous. 2003^b. Fitoremediasi : Upaya Mengolah Air Limbah Dengan Media Tanaman. Direktorat Perkotaan Dan Perdesaan Wilayah Barat. Jakarta
- Anonymous. 2003^c. Kualitas Air. http://www.o-fish.com/parameter_air.htm (Diakses pada tanggal 27 Juni 2008)
- Anonymous. 2004. Ragam Media Tanam. <http://www.kebonkembang.com/pan-duan-dan-tip-rubrik-35/145-ragam-media-tanam.html> (Diakses pada tanggal 28 Agustus 2009)
- Anonymous. 2006. Standar Kualitas Air di Perairan Umum. <http://www.lab-link.or.id/Env/Hidro/air-qua.htm> (Diakses pada tanggal 27 Mei 2008)
- Anonymous. 2007. Plants: *Cyperus alternifolia* - Umbrella Plants. <http://www.about-garden.com/a/en/1674-cyperus-alternifolia-umbrella-plants/> (Diakses pada tanggal 17 Mei 2009)
- Anonymous. 2008. Rumput Payung. <http://www.plantamor.com/index.php?plant=440> (Diakses pada tanggal 27 Juni 2009)
- Anonymous. 2009. Garam Dapur Sebagai Pengganti KCL. <http://www.tanindo.com/abdi3/hal2501.htm> (Diakses pada tanggal 14 Juni 2009)
- Asmoro, Djoko D. 2005. Pencemaran Limbah B3 Pada Ekosistem Tanah. Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Air Terpadu Dan Berkelanjutan Universitas Merdeka Malang.
- Brower, JE., JH.Zar and CN.Van Ende. 1990. Field And Laboratory Methods For The Examination Of Water And Waste Water, 17th ed., APHA, AWWA and WPLF. Washington
- Cheng, S., Grosse, W., Karrenbrock, W. and Thoennessen, M. 2002. Efficiency of constructed wetlands in decontamination of water polluted by heavy metals. Abstract. <http://www.sciencedirect.com/science> (Diakses pada tanggal 27 Juni 2009)
- Darsono, V. 2007. Pengolahan Limbah Cair Tahu Secara Anaerob Dan Aerob. Jurnal Teknologi Industri 11 (1): 9-20
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air. Kanisius. Yogyakarta

- EPA, 2001. A Citizen's Guide To Phytoremediation. <http://clu.in.org/download/citizens/citphyto.pdf> (Diakses pada tanggal 30 Maret 2008)
- Gintings, P. 1992. Mencegah dan Mengendalikan Pencemaran Industri. Sinar Harapan. Jakarta
- Hadi, A. 2005. Prinsip Pengelolaan Pengambilan Sampel Lingkungan. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Halliwell, David J., Barlow, Kirsten M., Nash, David M. 2001. A Review Of The Effects Of Wastewater Sodium On Soil Physical And Their Implications For Irrigation Systems. Australian Journal Of Soil Research. CSIRO Publishing. Australia.
- Hardjowigeno, S. 2007. Ilmu Tanah. Akademika Pressindo. Jakarta
- Hermawati, E., Wiryanto, dan Solichatun. 2005. Fitoremediasi Limbah Detergen Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) Dan Genjer (*Limnocharis flava* L.). Biosmart 7 (2): 115-124
- Irianto, EW., dan Machbub, B. 2004. Pengaruh Multiparameter Kualitas Air Terhadap Indikator Oksigen Terlarut Dan Daya Hantar Listrik (Studi Kasus Citarum Hulu). Jurnal Litbang Perairan 54 (18) : 59-65
- Kristanto, P. 2004. Ekologi Industri. Penerbit Andi. Yogyakarta
- Liao X., Luo S., Wu Y., and Wang Z. 2005. Comparison of nutrient removal ability between *Cyperus alternifolius* and *Vetiveria zizanioides* in constructed wetlands. Abstract. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pub-med/15852978> (Diakses pada tanggal 27 Juni 2009)
- Mahida, U.N. 1993. Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri. CV.Rajawali. Jakarta
- Miyazaki, A., Takeuchi, T., Nakamura, H., Yamamoto, Y. and Kubota, F. 2005. Characteristics Of Nutrient Absorption And Water Purification In Some Plant Species Grown By Floating Culture System. Abstract. <http://www.cab-abstractsplus.org/abstracts/Abstract.aspx?AcNo=20043141022> (Diakses pada tanggal 27 Juni 2009)
- Moenandir, J. dan Hidayat, S. 1993. Peranan Eceng Gondok dan Kangkung Air Pada Peningkatan Mutu Air Limbah. Agrivita 16 (2): 54-57
- Moenandir, J. dan Irawan, A. 1993. Kemampuan Eceng Gondok, Kiambang dan Tawas Dalam Penjernihan Bahan Baku Air Minum. Agrivita 16 (2): 58-60

- Notodarmojo, S. 2005. Pencemaran Tanah dan Air Tanah. Penerbit ITB. Bandung
- Notohadiprawiro, T. 2006. Pendayagunaan Pengelolaan Tanah Untuk Proteksi Lingkungan. Jurusan Tanah Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Priyanto, B. dan Prayitno, J. 2005. Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat. <http://lfl.tl.bppt.tri-pod.com/sublab/lflora1.htm> (Diakses pada tanggal 26 Februari 2008)
- Purnomo, E. 1991. Penyamakan Kulit Reptil. Kanisius. Yogyakarta
- Rosmarkam, A. dan Yuwono, NW. 2002. Ilmu Kesuburan Tanah. Penerbit Kanisius. Yogyakarta
- Santi, DN. 2004. Pengelolaan Limbah Cair Pada Industri Penyamakan Kulit Industri Pulp dan Kertas Industri Kelapa Sawit. e-USU Repository Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sumatera Utara. Sumatera Utara
- Santoso, B. 1986. Sifat dan Ciri Andosol. Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Malang
- Salisbury, FB., and Ross, CW. 1995^a. Fisiologi tumbuhan jilid 1. penerbit ITB. Bandung. 135-136 h
- Salisbury, FB., and Ross, CW. 1995^b. Fisiologi Tumbuhan Jilid 3. Penerbit ITB. Bandung. 299 h
- Setyawan, BE. 2007. Efektivitas Penurunan Bahan Organik dan Anorganik Pada Limbah Cair Penyamakan Kulit Menggunakan Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes L.*) Sebagai Biofilter. Skripsi. Jurusan Teknik Industri Pertanian. Fakultas Teknik Pertanian Universitas Brawijaya. Malang
- Sipayung, R. 2003. Stress Garam dan Mekanisme Toleransi Tanaman. www.library.usu.ac.id/download/fp/bdp-rosita2.pdf (Diakses pada tanggal 12 Agustus 2008)
- Siregar, SA. 2005. Instalasi Pengolahan Air Limbah. Penerbit Kanisius. Yogyakarta
- Soepardi, G. 1983. Sifat dan Ciri Tanah. Proyek Peningkatan Pengembangan Perguruan Tinggi IPB. Bogor
- Sudarmono, AS. 1997. Mengenal dan Merawat Tanaman Hias Ruangan. Penerbit Kanisius. Yogyakarta

- Sudibyaningsih, T. 2004. Gulma Air *Eichornia Crassipes* dan *Salvinia Molesta* Sebagai Fitoremediator Logam Kadmium Dan Krom Heksavalen Dalam Penanganan Limbah Cair. *Biosfera* 21 (2): 50-58
- Sugiharto. 2005. Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah. UI press. Jakarta
- Sunu, P. 2001. Melindungi Lingkungan Dengan Menerapkan ISO 14001. PT.Gramedia Widiasarana Indonesia. Jakarta
- Suriawiria, U. 2003. Mikrobiologi Air. Penerbit PT.Alumni. Bandung
- Suriawiria, U. 2005. Air Dalam Kehidupan Dan Lingkungan Yang Sehat. Penerbit PT.Alumni. Bandung
- Wardhana, W.A. 2004. Dampak Pencemaran Lingkungan. Penerbit Andi. Yogyakarta
- Wikipedia. 2009. Lahan Basah. http://id.wikipedia.org/wiki/Lahan_basah (Diakses pada tanggal 07 Januari 2010)
- Wirosoedarmo, R. 1985. Dasar-Dasar Irigasi Pertanian. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Malang.



Lampiran 1. Hasil Analisis Dasar Tanah dan Inlet serta Outlet Limbah Cair Penyamakan Kulit

a. Hasil analisis dasar Andisol Cangar

No	Macam analisa dasar	Hasil	Kriteria ^{*)}
1	C-organik (%)	3,62	Tinggi
2	Na (me. 100g ⁻¹)	0,49	Sedang
3	KTK (me. 100g ⁻¹)	36,27	Tinggi
4	pH (H ₂ O)	6,71	Sedang
5	Tekstur		Lempung halus

Keterangan : * kriteria berdasarkan pusat penelitian tanah, 1983 dalam Hardjowigeno (2007)

b. Hasil analisis dasar inlet limbah cair penyamakan kulit

Parameter	Satuan	Metode Analisa	Hasil	Standar baku mutu ^{*)}
TDS	mg/L	APHA. Ed. 20. 2540 C, 1998	14480	1000
Natrium	mg/L	SNI 06 2431 - 1991	740	60
SAR	mg/L	APHA. Ed. 20. 3500 Mg, 1998 APHA. Ed. 20. 3500 Ca, 1999	49,08	1,5 - 2,5
Cr +6	mg/L	APHA. Ed. 20. 3500 Cr B, 1998	tt	1
Arsen	mg/L	QI/LKA/56 (HVG)	0,002	1
Kadmium	mg/L	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	tt	0,01
Tembaga	mg/L	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1999	tt	0,1
Air Raksa	mg/L	QI/LKA/56 (HVG)	0,002	0,005
Mangan	mg/L	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1999	tt	2
Nikel	mg/L	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1999	0,038	0,5
Timbal	mg/L	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1999	tt	1
Selenium	mg/L	QI/LKA/56 (HVG)	0,004	0,05
Seng	mg/L	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1999	0,500	2
pH		Electrode glass	12,24	5-9
DHL	µmhos/cm	Electrode glass	113300	2250
BOD	mg/L	APHA. Ed. 20. 5210 B, 1998	1850,8	100 ^{**)}
COD	mg/L	QI/LKA/19 (spektrofotometri)	6965,6	250 ^{**)}

Keterangan: tt: tidak terdeteksi

^{*)} Standar Kualitas Air di Perairan Umum Golongan D Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.20 Tahun 1990 (Anonymous, 2006).

^{**)} SK Gub. No.45/2002 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri.

c. Hasil analisis dasar outlet (IPAL) limbah cair penyamakan kulit

Parameter	Satuan	Metode	Hasil	Standar baku mutu *)
TDS	mg/L	APHA. Ed. 20. 2540 C, 1998	7667,53	1000
Natrium	mg/L	SNI 06 2431 - 1991	889,87	60
SAR	mg/L	APHA. Ed. 20. 3500 Mg, 1998 APHA. Ed. 20. 3500 Ca, 1999	22,18	1,5 - 2,5
Cr +6	mg/L	APHA. Ed. 20. 3500 Cr B, 1998	tt	1
Arsen	mg/L	Q1/LKA/56 (HVG)	0,001	1
Kadmium	mg/L	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	tt	0,01
Tembaga	mg/L	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1999	tt	0,1
Raksa	mg/L	Q1/LKA/56 (HVG)	0,001	0,005
Mangan	mg/L	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1999	tt	2
Nikel	mg/L	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1999	0,016	0,5
Timbal	mg/L	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1999	0,002	1
Selenium	mg/L	Q1/LKA/56 (HVG)	tt	0,05
Seng	mg/L	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1999	0,907	2
pH		Electrode glass	8,23	5-9
DHL	µmhos/cm	Electrode glass	89200	2250
BOD	mg/L	APHA. Ed. 20. 5210 B, 1998	251,20	100 **)
COD	mg/L	QI/LKA/19 (spektrofotometri)	746,25	250 **)

Keterangan: tt: tidak terdeteksi

*) Standar Kualitas Air di Perairan Umum Golongan D Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.20 Tahun 1990 (Anonymous, 2006).

***) SK Gub. No.45/2002 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri.

Lampiran 2. Perhitungan Ukuran Wadah Proses Pengolahan Limbah

Limbah yang dihasilkan per hari = $100 \text{ m}^3 = 100000 \text{ dm}^3 = 100000 \text{ L}$

Volume sebenarnya bak proses 1 = $2,5 \times$ volume limbah yang dihasilkan per hari
 = $2,5 \times 100 \text{ m}^3$
 = 250 m^3
 = 250000 dm^3
 = 250000 L

Volume sebenarnya bak proses 2 = volume limbah yang dihasilkan per hari $\times 5$ hari $\times (2,5 \times 10^{-3})$
 = $100000 \text{ dm}^3 \times 5$ hari $\times (2,5 \times 10^{-3})$
 = 1250 m^3
 = 1250000 dm^3
 = 1250000 L

Ukuran wadah yang digunakan dalam penelitian yaitu

Limbah yang dihasilkan per hari	:	Volume sebenarnya bak proses 1	:	Volume sebenarnya bak proses 2
100000 L	:	250000 L	:	1250000 L
(: 1000) 100 L	:	250 L	:	1250 L
(: 25) 4 L	:	10 L	:	50 L

Lampiran 3. Analisis ragam (ANOVA) Kualitas air remediasi limbah penyamakan kulit

1. Nilai pH

Pengamatan	Sumber Keragaman (SK)			KT	F Hitung	F Tabel 5%
	db	JK				
18 HSR	Perlakuan	5	0,26	0,05	2,99 ^{tn}	3,11
	Galat	12	0,21	0,02		
	Total	17	0,46			
36 HSR	Perlakuan	5	0,09	0,02	4,49*	3,11
	Galat	12	0,05	0,004		
	Total	17	0,15			
54 HSR	Perlakuan	5	0,14	0,03	1,36 ^{tn}	3,11
	Galat	12	0,25	0,02		
	Total	17	0,39			
72 HSR	Perlakuan	5	1,51	0,30	12,12*	3,11
	Galat	12	0,29	0,02		
	Total	17	1,81			
90 HSR	Perlakuan	5	2,43	0,49	52,17*	3,11
	Galat	12	0,11	0,01		
	Total	17	2,54			

Keterangan: *
^{tn} berbeda nyata pada peluang 5%
tidak nyata

2. Nilai Na

Pengamatan	Sumber Keragaman (SK)	db	JK	KT	F Hitung	F Tabel 5%
18 HSR	Perlakuan	5	373606,44	74721,29	45,81*	3,11
	Galat	12	19574,67	1631,22		
	Total	17	393181,11			
36 HSR	Perlakuan	5	130350,12	26070,02	1,53 ^{tn}	3,11
	Galat	12	204262,59	17021,88		
	Total	17	334612,71			
54 HSR	Perlakuan	5	167787,76	33557,55	9,79*	3,11
	Galat	12	41135,22	3427,93		
	Total	17	208922,98			
72 HSR	Perlakuan	5	64035,86	12807,17	9,10*	3,11
	Galat	12	16889,52	1407,46		
	Total	17	80925,38			
90 HSR	Perlakuan	5	63761,84	12752,37	7,70*	3,11
	Galat	12	19862,99	1655,25		
	Total	17	83624,84			

Keterangan: * berbeda nyata pada peluang 5%
^{tn} tidak nyata

3. Nilai SAR

Pengamatan	Sumber Keragaman			KT	F Hitung	F Tabel 5%
	(SK)	db	JK			
18 HSR	Perlakuan	5	4552,07	910,41	32,87*	3,11
	Galat	12	332,33	27,69		
	Total	17	4884,39			
36 HSR	Perlakuan	5	1455,92	291,18	2,04 ^{tn}	3,11
	Galat	12	1708,97	142,41		
	Total	17	3164,89			
54 HSR	Perlakuan	5	848,43	169,69	14,27*	3,11
	Galat	12	142,68	11,89		
	Total	17	991,11			
72 HSR	Perlakuan	5	244,33	48,87	5,88*	3,11
	Galat	12	99,68	8,31		
	Total	17	344,02			
90 HSR	Perlakuan	5	207,59	41,52	5,45*	3,11
	Galat	12	91,35	7,61		
	Total	17	298,95			

Keterangan: *
^{tn} berbeda nyata pada peluang 5%
tidak nyata

4. Nilai TDS

Pengamatan	Sumber	db	JK	KT	F Hitung	F Tabel 5%
	Keragaman (SK)					
18 HSR	Perlakuan	5	74923731	14984746	45,93*	3,11
	Galat	12	3915434,9	326286,2		
	Total	17	78839165			
36 HSR	Perlakuan	5	48342261	9668452	9,66*	3,11
	Galat	12	12013964	1001164		
	Total	17	60356225			
54 HSR	Perlakuan	5	45137300	9027460	20,64*	3,11
	Galat	12	5248266,1	437355,5		
	Total	17	50385566			
72 HSR	Perlakuan	5	25617292	5123458	5,57*	3,11
	Galat	12	11035472	919622,6		
	Total	17	36652763			
90 HSR	Perlakuan	5	17693791	3538758	15,50*	3,11
	Galat	12	2739017,7	228251,5		
	Total	17	20432809			

Keterangan: *
^{tn} berbeda nyata pada peluang 5%
tidak nyata

5. Nilai DHL

Pengamatan	Sumber Keragaman (SK)	db	JK	KT	F Hitung	F Tabel 5%
18 HSR	Perlakuan	5	205509444	41101889	6,18*	3,11
	Galat	12	79800000	6650000		
	Total	17	285309444			
36 HSR	Perlakuan	5	161302778	32260556	5,27*	3,11
	Galat	12	73506667	6125556		
	Total	17	234809444			
54 HSR	Perlakuan	5	95362778	19072556	7,99*	3,11
	Galat	12	28653333	2387778		
	Total	17	124016111			
72 HSR	Perlakuan	5	277117778	55423556	21,67*	3,11
	Galat	12	30693333	2557778		
	Total	17	307811111			
90 HSR	Perlakuan	5	318640000	63728000	60,22*	3,11
	Galat	12	12700000	1058333		
	Total	17	331340000			

Keterangan: *_{tn} berbeda nyata pada peluang 5%
tidak nyata

6. Nilai COD

Pengamatan	Sumber Keragaman (SK)	db	JK	KT	F Hitung	F Tabel 5%
18 HSR	Perlakuan	5	2788728,40	557745,70	25,78*	3,11
	Galat	12	259612,61	21634,38		
	Total	17	3048341			
36 HSR	Perlakuan	5	597759,77	119552	6,24*	3,11
	Galat	12	229807,35	19150,61		
	Total	17	827567,12			
54 HSR	Perlakuan	5	306337,24	61267,45	10,44*	3,11
	Galat	12	70412,30	5867,69		
	Total	17	376749,54			
72 HSR	Perlakuan	5	248327,72	49665,54	54,58*	3,11
	Galat	12	10918,73	909,89		
	Total	17	259246,44			
90 HSR	Perlakuan	5	266969,33	53393,87	55,26*	3,11
	Galat	12	11594,26	966,19		
	Total	17	278563,59			

Keterangan: *_{tn} berbeda nyata pada peluang 5% tidak nyata

7. Nilai BOD

Pengamatan	Sumber Keragaman (SK)	db	JK	KT	F Hitung	F Tabel 5%
18 HSR	Perlakuan	5	698489,38	139697,90	31,90*	3,11
	Galat	12	52544,76	4378,73		
	Total	17	751034,14			
36 HSR	Perlakuan	5	124088,26	24817,65	4,98*	3,11
	Galat	12	59765,41	4980,45		
	Total	17	183853,67			
54 HSR	Perlakuan	5	111661,55	22332,31	12,91*	3,11
	Galat	12	20750,21	1729,18		
	Total	17	132411,76			
72 HSR	Perlakuan	5	18157,78	3631,56	1,71 ^{tn}	3,11
	Galat	12	25506,50	2125,54		
	Total	17	43664,28			
90 HSR	Perlakuan	5	88813,16	17762,63	8,05*	3,11
	Galat	12	26480,73	2206,73		
	Total	17	115293,89			

Keterangan: * berbeda nyata pada peluang 5%
^{tn} tidak nyata

Lampiran 4. Hasil analisis Duncan

1. Nilai pH

Perlakuan	pH				
	18 HSR	36 HSR	54 HSR	72 HSR	90 HSR
L	8,48 b	8,25 c	8,22 a	8,21 c	8,18 b
R	8,42 b	8,16 bc	8,11 a	8,07 c	8,05 b
K	8,11 a	8,02 a	7,98 a	7,78 b	7,45 a
KR	8,28 ab	8,09 ab	8,05 a	7,69 b	7,30 a
T	8,27 ab	8,17 bc	8,02 a	7,37 a	7,30 a
TR	8,37 b	8,10 ab	7,96 a	7,54 ab	7,34 a

Keterangan : Angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan pengaruh yang nyata (Uji Duncan pada taraf 5%)

2. Nilai Na

Perlakuan	Na (mg/L)				
	18 HSR	36 HSR	54 HSR	72 HSR	90 HSR
L	673,33 d	526,22 a	485,38 d	393,47 b	270,94 d
R	416,67 bc	500,69 a	408,79 cd	235,20 a	117,77 ab
K	459,00 c	393,47 a	337,31 bc	265,83 a	214,78 cd
KR	241,33 a	459,85 a	255,62 ab	219,88 a	97,35 a
T	359,00 b	337,31 a	240,30 ab	235,20 a	189,25 bc
TR	261,33 a	291,36 a	219,88 a	232,79 a	143,30 abc

Keterangan : Angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan pengaruh yang nyata (Uji Duncan pada taraf 5%)

3. Nilai SAR

Perlakuan	SAR (mg/L)				
	18 HSR	36 HSR	54 HSR	72 HSR	90 HSR
L	68,96 d	53,22 b	32,09 c	22,74 b	17,47 b
R	40,11 bc	42,18 ab	24,27 b	14,47 a	7,91 a
K	45,27 c	35,90 ab	18,47 ab	17,32 a	11,83 a
KR	22,16 a	40,06 ab	14,81 a	12,92 a	7,09 a
T	32,58 b	29,86 a	13,79 a	13,38 a	12,41 a
TR	23,04 a	25,28 a	12,71 a	13,25 a	10,64 a

Keterangan : Angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan pengaruh yang nyata (Uji Duncan pada taraf 5%)

4. Nilai TDS

Perlakuan	TDS (mg/L)				
	18 HSR	36 HSR	54 HSR	72 HSR	90 HSR
L	13317,73 d	11478,53 bc	9626,67 c	7387,20 b	5309,87 d
R	9720,40 b	12033,33 c	6622,13 b	4053,33 a	2839,87 ab
K	11227,73 c	8185,20 a	7045,20 b	4215,47 a	3648,00 bc
KR	8162,40 a	9796,40 ab	6784,27 b	3830,40 a	2292,67 a
T	8370,13 a	7967,33 a	5026,13 a	5008,40 a	4451,07 c
TR	7372,00 a	8200,40 a	4813,33 a	4780,40 a	3860,80 c

Keterangan : Angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan pengaruh yang nyata (Uji Duncan pada taraf 5%)

5. Nilai DHL

Perlakuan	DHL ($\mu\text{hos/cm}$)				
	18 HSR	36 HSR	54 HSR	72 HSR	90 HSR
L	31800,00 c	30766,67 c	28333,33 b	24666,67 d	21966,67 d
R	27066,67 abc	27933,33 bc	27266,67 b	13800,00 ab	10433,33 a
K	27533,33 bc	25333,33 ab	23666,67 a	16366,67 bc	13266,67 b
KR	23466,67 ab	24300,00 ab	22266,67 a	12366,67 a	9233,33 a
T	22500,00 a	21600,00 a	23000,00 a	18233,33 c	16433,33 c
TR	22400,00 a	23633,33 ab	23233,33 a	17033,33 c	15466,67 c

Keterangan : Angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan pengaruh yang nyata (Uji Duncan pada taraf 5%)

6. Nilai COD

Perlakuan	COD (mg/L)				
	18 HSR	36 HSR	54 HSR	72 HSR	90 HSR
L	1667,00 c	1154,47 c	861,50 c	786,83 e	559,40 e
R	550,73 a	772,18 ab	848,50 c	521,73 bc	343,93 b
K	898,77 b	682,13 ab	521,93 a	495,90 b	482,50 d
KR	490,23 a	563,33 a	702,27 b	412,20 a	210,80 a
T	929,10 b	855,47 b	705,00 b	624,17 d	548,17 e
TR	660,27 ab	807,87 ab	904,87 c	556,13 c	419,47 c

Keterangan : Angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan pengaruh yang nyata (Uji Duncan pada taraf 5%)

7. Nilai BOD

Perlakuan	BOD (mg/L)				
	18 HSR	36 HSR	54 HSR	72 HSR	90 HSR
L	759,13 c	571,03 c	444,33 a	421,73 ab	347,33 d
R	321,90 a	470,27 bc	480,93 ab	364,90 ab	189,67 ab
K	661,20 bc	538,20 bc	510,60 ab	376,90 ab	254,23 bc
KR	235,00 a	334,07 a	546,67 b	341,40 a	140,00 a
T	588,77 b	536,43 bc	644,53 c	433,57 b	311,00 cd
TR	321,13 a	407,93 ab	654,13 c	391,23 ab	276,67 bcd

Keterangan : Angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan pengaruh yang nyata (Uji Duncan pada taraf 5%)



Lampiran 5. Korelasi Antar Parameter

Correlations

		pH	Na (mg/l)	SAR (mg/l)	TDS (mg/l)	DHL (µmhos/cm)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)
pH	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	1 . 30						
Na (mg/l)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	.660(**) .000 30	1 . 30					
SAR (mg/l)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	.648(**) .000 30	.940(**) .000 30	1 . 30				
TDS (mg/l)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	.710(**) .000 30	.926(**) .000 30	.942(**) .000 30	1 . 30			
DHL (µmhos/cm)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	.727(**) .000 30	.873(**) .000 30	.809(**) .000 30	.897(**) .000 30	1 . 30		
COD (mg/l)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	.567(**) .001 30	.792(**) .000 30	.783(**) .000 30	.741(**) .000 30	.772(**) .000 30	1 . 30	
BOD (mg/l)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	.579(**) .001 30	.669(**) .000 30	.592(**) .001 30	.585(**) .001 30	.714(**) .000 30	.856(**) .000 30	1 . 30

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

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

Lampiran 6. Hasil Remediasi Dibanding IPAL dan Baku Mutu

No	Parameter	Satuan	Inlet (Sebelum masuk IPAL)	Hasil Remediasi pada 90 HSR		Outlet (Setelah masuk IPAL)	Standar Baku mutu *)
				KR	7,30		
1	pH	-	12,24	KR	7,30	8,23	5-9
2	Na	mg/L	740	KR	97,35	889,87	60
3	SAR	mg/L	49,08	KR	7,09	22,18	1,5-2,5
4	TDS	mg/L	14480	KR	2292,67	7667,53	1000
5	DHL	$\mu\text{mhos/cm}$	113300	KR	9233,33	89200	2250
6	COD	mg/L	6965,6	KR	210,80	746,25	250**)
7	BOD	mg/L	1850,8	KR	140	251,20	100**)

Keterangan:

*) Standar Kualitas Air di Perairan Umum Golongan D Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.20 Tahun 1990 (Anonymous,2006).

**) SK Gub. No.45/2002 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri.

Lampiran 7. Gambar Alat, Tanaman dan Perlakuan Remediasi



Wadah yang Digunakan Pada Penelitian

Tanaman yang digunakan untuk remediasi



Enceng gondok
(*Eichornia crassipes*)



Melati air
(*Echinodorus paleaefolius*)



Rumput payung
(*Cyperus alternifolius*)

Perlakuan remediasi



Limbah (L)



Limbah + Kerikil (K)



Limbah + tanah (T)



Limbah + fitoremediasi (R)



Limbah + wetland (KR)



Limbah + tanah + fitoremediasi (TR)

