

BAB IV

HASIL PENELITIAN

DAN PEMBAHASAN

Penelitian dimulai dengan melakukan penanaman tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica Forsk*) di dalam reaktor perlakuan dimana tanaman kangkung air tersebut akan diberi perlakuan limbah dari Industri Pengalengan Jamur PT. Margorejo.

Reaktor ditanami dengan kangkung air (*Ipomoea aquatica Forsk*) lengkap dengan tinggi tanaman 24 cm, panjang akar 15 cm, lebar daun 4,5 cm dan panjang daun 8 cm. Tanaman kangkung air tersebut dibiarkan beradaptasi dengan lingkungannya selama 4 hari, dan terjadi pertumbuhan pada tanaman kangkung air tersebut sehingga tinggi tanaman menjadi 27 cm lebar daun 4,5 cm dan panjang daun 8 cm. Penyiraman limbah dilakukan dengan konsentrasi limbah yang berbeda-beda yaitu konsentrasi limbah 25 %, 50 %, 75 % dan 100 % dari total tinggi air 15 cm sebanding dengan 75 L.

Setelah waktu detensi 4 hari, sampel diambil dan diuji langsung. Data hasil pengujian laboratorium dapat dilihat pada daftar lampiran VII.

Pemanfaatan tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica Forsk*) untuk pengolahan limbah cair industri pengalengan jamur dengan variasi konsentrasi limbah 25 %, 50, 75 % % dan 100 % dengan total volume 75 L menunjukkan

kemampuan yang berbeda-beda dalam menurunkan parameter BOD₅, COD, TSS, Fe, Mg dan menaikkan parameter DO begitu juga dengan reaktor non tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica Forsk*). Untuk mengetahui penurunan parameter yang diuji dapat digunakan rumus :

$$\text{Efisiensi (\%)} = \{(S_0 - S_1)/S_0\} \times 100 \%$$

Dimana: S₀ = Kadar pencemar sebelum perlakuan

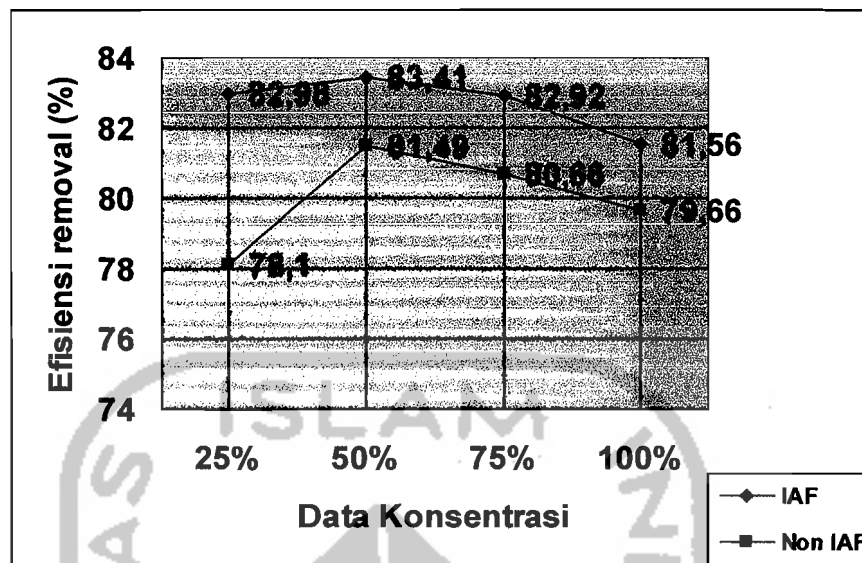
S₁ = Kadar pencemar sesudah perlakuan

Hasil perhitungannya dapat dilihat pada daftar lampiran.

4.1 Efisiensi Penurunan BOD₅

Data hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan efisiensi penurunan kualitas air limbah dengan adanya variasi konsentrasi dari limbah. Adanya variasi konsentrasi limbah diharapkan dapat diketahui efisiensi penurunan yang optimal pada bak perlakuan yang menggunakan tanaman kangkung air dan non tanaman kangkung air dan mampu menurunkan kualitas limbah cair industri pengalengan jamur.

Variasi efisiensi penurunan masing-masing parameter limbah cair berdasarkan konsentrasi limbah dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 4.1 Efisiensi Rerata Penurunan Parameter BOD₅

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi BOD₅ limbah cair industri pengalengan jamur dengan menggunakan 2 jenis variasi perlakuan yaitu menggunakan tanaman kangkung air dan non tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica Forsk*), menunjukkan adanya penurunan konsentrasi yang cukup nyata terhadap waktu detensi limbah cair dalam reaktor.

Berdasarkan dari gambar 4.1 reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica Forsk*), dengan konsentrasi limbah 25 % efisiensi penurunan yang terjadi pada BOD₅ sebesar 82,98 % dengan konsentrasi awal (S_0) 22 mg/L menjadi 3,5 mg/L dengan waktu detensi 4 hari. Konsentrasi limbah 50 %, efisiensi penurunannya adalah 83,41 % dengan konsentrasi awal 43,5 mg/L menjadi 7,35 mg/L. Konsentrasi limbah 75 %, efisiensi penurunannya adalah 82,29 % dengan nilai konsentrasi awal 65 mg/L menjadi 10,55 mg/L dan

untuk konsentrasi limbah 100 % efisiensi penurunannya adalah 81,56 mg/L dengan nilai konsentrasi awal 85 mg/L menjadi 15,7 mg/L.

Untuk limbah cair pada reaktor yang non tanaman kangkung air untuk konsentrasi limbah 25 %, efisiensi penurunan yang terjadi sebesar 78,10 mg/l dengan nilai konsentrasi awal 22mg/L menjadi 4,48 mg/L. Konsentrasi 50 %, efisiensi penurunannya adalah 81,49 % dengan nilai konsentrasi awal 43,5 mg/L menjadi 7,75 mg/L. Konsentrasi 75 % efisiensi penurunannya adalah 80,66 % dengan nilai konsentrasi awal 65 mg/L menjadi 13,13 mg/L. Konsentrasi 100 % efisiensi penurunannya adalah 79,11 % dengan konsentrasi awal 85 mg/L menjadi 19 mg/L.

Penurunan konsentrasi BOD₅ di dalam reaktor tersebut disebabkan oleh adanya suplai oksigen melalui proses fotosintesis tanaman, alga dan biofilm, proses difusi langsung ke badan air yang berada di dalam reaktor dan melalui reaerasi dari permukaan tanaman, serta dari translokasi oksigen menuju lapisan rhizosfer dan proses difusi langsung dari atmosfer yang berada di atas permukaan air. Reed et., al (1987) dan Merz, (2000) mengenai suplai oksigen di dalam *wetland*.

Oksigen tersebut dibutuhkan untuk mendekomposisi atau menguraikan secara aerobik bahan organik karbon yang terdapat dalam air limbah oleh mikroorganisme, sedangkan untuk reaktor yang tidak menggunakan tanaman kangkung air hanya terjadi pada proses difusi dan reaerasi permukaan air.

Pada waktu detensi 4 hari, konsentrasi BOD₅ pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air mengalami kenaikan dari konsentrasi limbah 25 % sebesar 3,5 mg/L ke konsentrasi limbah 100 % sebesar 15,7 mg/L, sedangkan untuk reaktor non tanaman kangkung air mengalami kenaikan dari konsentrasi limbah 25 % sebesar 3,5 mg/L ke konsentrasi limbah 100 % sebesar 19 mg/L. Hal ini disebabkan semakin pekatnya kadar limbah yang terdapat pada reaktor tersebut, juga dipengaruhi oleh adanya alga atau mikroorganisme lain yang terdapat dalam reaktor tersebut. Perbedaan penurunan yang terjadi pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air dan reaktor non tanaman kangkung air, efisiensi penurunan yang terjadi lebih besar pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica* Forsk). Kenaikan kadar BOD₅ pada konsentrasi limbah 25 % dari 3,5mg/L menjadi 15,7 mg/L, kurangnya efisiensi penurunan yang terjadi pada reaktor non tanaman kangkung air disebabkan pertumbuhan alga dan mikroorganisme dalam reaktor tersebut, dan menurut Scott, 2004 bahwa alga dan *cyanobacteria* ada di dalam air tawar dan air asin secara alami. Karena tidak adanya vegetasi *wetland* sehingga alga dapat tumbuh dengan pesat pada reaktor. Alga dapat tumbuh apabila ada nutrisi dan sinar matahari yang cukup untuk proses asimilasi alga (Reed. et. Al., 1987).

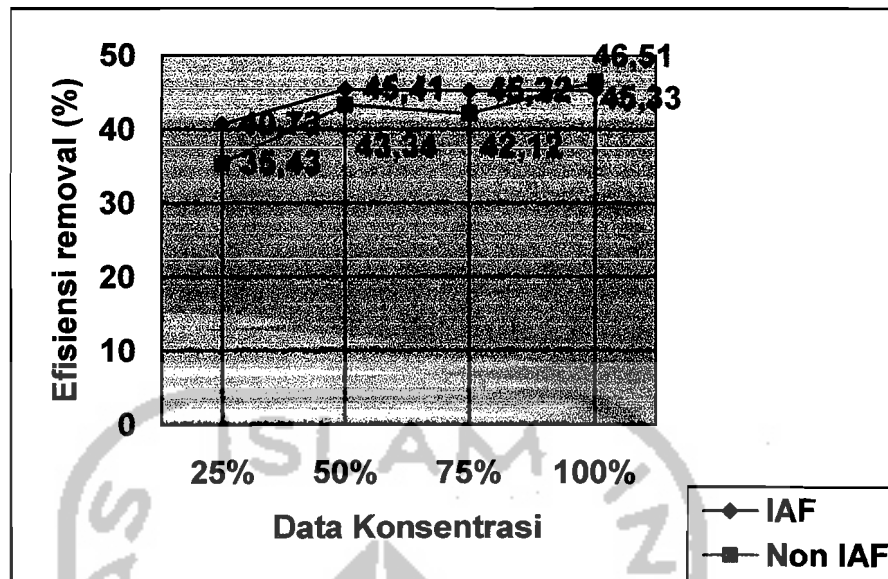
Penurunan penguraian limbah yang terjadi pada gambar 4. yang mulai terjadi pada konsentrasi 75 % bisa disebabkan karena kurangnya persediaan oksigen dalam air serta adanya pelarutan karbondioksida, maka proses penguraian zat organik menjadi terhambat. Proses dekomposisi bahan organik akan terjadi

dengan seimbang apabila jumlah bahan organik yang masuk sebanding dengan jumlah persediaan oksigen.

Suplai oksigen ke dalam kolam air *wetland* terjadi karena adanya difusi langsung dari atmosfer ke permukaan air dan adanya proses fotosintesis dari tanaman di dalam kolom air (Merz, 2000). Proses degradasi dan mineralisasi karbon organik terjadi pada lapisan sedimen dan lapisan *biofilm* yang terdapat pada tanaman. Di dalam FWS, kehilangan konsentrasi dari BOD₅ terlarut tergantung dari pertumbuhan mikroorganisme yang menempel pada akar, batang dan daun tanaman yang sudah mati dan jatuh kedalam *wetland*. Apabila tanaman menutupi seluruh areal *wetland*, maka biasanya alga tidak dapat tumbuh dan sumber utama oksigen yang paling besar untuk reaksi oksidasi adalah datang dari reaerasi pada permukaan air dan dari translokasi oksigen menuju *rhizosfer* (Reed. et al., 1987).

4.2 Efisiensi Penurunan COD

Penurunan kandungan COD dalam reaktor menurun seiring dengan semakin banyaknya kontak udara yang terjadi terhadap bahan organik yang terkandung dalam air limbah, sehingga dengan memperbanyak waktu pengaliran udara akan semakin banyak kandungan COD yang teroksidasi.



Gambar 4.2 Efisiensi Rerata Penurunan Parameter COD

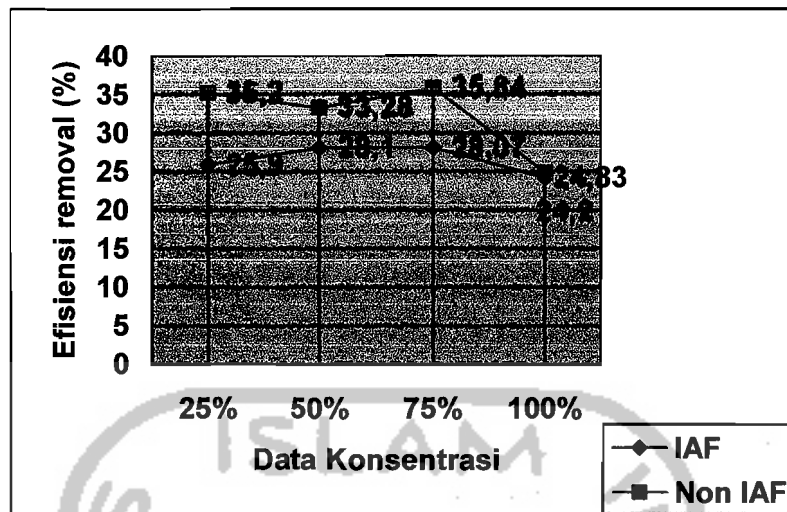
Berdasarkan hasil penelitian pada gambar 4.2 penurunan kadar COD pada konsentrasi limbah 25 % dengan efisiensi penurunannya adalah 40,74 %, untuk konsentrasi limbah 50 % efisiensi penurunannya adalah 45,41 %, untuk konsentrasi limbah 75 % efisiensi penurunannya adalah 45,22 %, dan untuk konsentrasi limbah 100 % efisiensi penurunannya adalah 46,51 %. Penelitian pada reaktor yang non tanaman kangkung air efisiensi penurunan kadar COD lebih sedikit dibandingkan pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air, untuk konsentrasi limbah 25 % efisiensi penurunannya adalah 35,43 %, untuk konsentrasi limbah 50 % efisiensi penurunannya adalah 43,34 %, untuk konsentrasi limbah 75 % efisiensi penurunannya adalah 42,12 % dan untuk konsentrasi limbah 100 % efisiensi penurunannya adalah 46,51 %.

Perbedaan penurunan yang terjadi pada reaktor non tanaman kangkung air bisa disebabkan oleh kurangnya oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam mengolah limbah cair tersebut, dimana nilai COD merupakan suatu bilangan yang dapat menunjukkan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik menjadi CO₂ dalam air dengan perantara oksida kuat dalam suasana asam (Benefield dan Randall, 1980).

Angka COD merupakan ukuran bagi pencemar oleh zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologi dan mengakibatkan kurangnya oksigen terlarut di dalam air.

4.3 Efisiensi Penurunan TSS

Padatan tersuspensi dapat dihilangkan dan diproduksi dalam proses alami *wetlands*. Proses utama untuk *removal* padatan tersuspensi adalah dengan proses flokulasi atau sedimentasi dan proses filtrasi atau intersepsi. Padatan tersuspensi di dalam *wetlands* terjadi apabila ada kematian dari invetebrata, batang tanaman yang jatuh, produksi plankton dan mikroba di dalam kolam air atau yang menempel pada permukaan tanaman, dan senyawa kimia yang terpresipitasi seperti besi sulfid (USEPA, 1999). Partikel yang besar dan berat akan segera mengendap setelah terbawa oleh air dan melewati vegetasi yang terdapat didalam *wetlands* (Merz, 2000).



Gambar 4.3 Efisiensi Rerata Penurunan Parameter TSS

Constructed wetland sangat efektif untuk menurunkan konsentrasi TSS dalam air buangan, karena terjadi proses flokulasi, sedimentasi dan proses filtrasi, maupun intersepsi, tetapi pada penelitian ini efisiensi penurunan kadar TSS yang terjadi pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air dan pada reaktor non tanaman kangkung air tidak terlalu optimal, Hal ini dapat dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah jarak penanaman tanaman yang terlalu jauh. Sehingga proses pembentukan flok-flok yang terjadi di dalam reaktor kurang sempurna, sehingga penurunan kadar TSS menjadi rendah dan kurangnya waktu detensi yang hanya 4 hari.

Kadar padatan pada air limbah ini dapat diturunkan dengan proses fisik yaitu sedimentasi. Pada sistem *Constructed wetland* ini air limbah mengalir melewati partikel-partikel tanah dengan waktu detensi yang cukup. Kedalaman media dan kecepatan tertentu, sehingga akan memberikan kesempatan partikel-partikel *solid*

untuk mengendap dan terjadi peristiwa sedimentasi dalam air limbah (Gopal, 1999 dalam Siswoyo, E., 2002).

Berdasarkan gambar 4.3 pada reaktor non tanaman kangkung air konsentrasi limbah TSS 25 % efisiensi penurunannya adalah 25,90 % dari konsentrasi limbah awal 26,7 mg/L menjadi 18,9 mg/L. Pada konsentrasi limbah 50 % efisiensi penurunannya adalah 28,10 % dari konsentrasi limbah awal 56 mg/l menjadi 44,85 mg/L, untuk konsentrasi limbah 75 % efisiensi penurunannya adalah 28,07 % dari konsentrasi limbah awal 84 mg/L menjadi 53,75 mg/L dan untuk konsentrasi limbah 100 % efisiensi penurunannya adalah 24,20% dari konsentrasi limbah awal 108 mg/L menjadi 82,6 mg/L. Penurunan kadar TSS pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air terjadi efisiensi penurunan yang lebih kecil dibandingkan dengan reaktor yang non tanaman kangkung air. Untuk konsentrasi limbah 25 % efisiensi penurunannya adalah 35,20 %, untuk konsentrasi limbah 50 % efisiensi penurunannya adalah 33,28 %, untuk konsentrasi limbah 75 % efisiensi penurunannya adalah 35,84 % dan untuk konsentrasi limbah 100 % efisiensi penurunannya adalah 24,83 %.

Penurunan konsentrasi TSS merupakan proses alami yang terjadi di dalam *constructed wetland*. Proses yang paling berperan adalah proses fisika meliputi proses sedimentasi, agregasi dan intersepsi. Pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air bahan organik terlarut dimanfaatkan untuk proses asimilasi atau proses fotosintesis oleh tanaman dan penguraian oleh bakteri di dalam

reaktor, sehingga dengan berlangsungnya proses tersebut maka konsentrasi padatan tersuspensi menjadi berkurang.

Padatan tersuspensi yang terdapat dalam air buangan pada reaktor mengalami proses flokulasi, sehingga membentuk jonjot dengan diameter jonjot semakin besar dan berat, sehingga terpresipitasi membentuk lapisan sedimen pada lapisan dasar reaktor. Padatan atau partikel di dalam *wetland* mempunyai kecenderungan untuk mengalami proses flokulasi (Merz,2000).

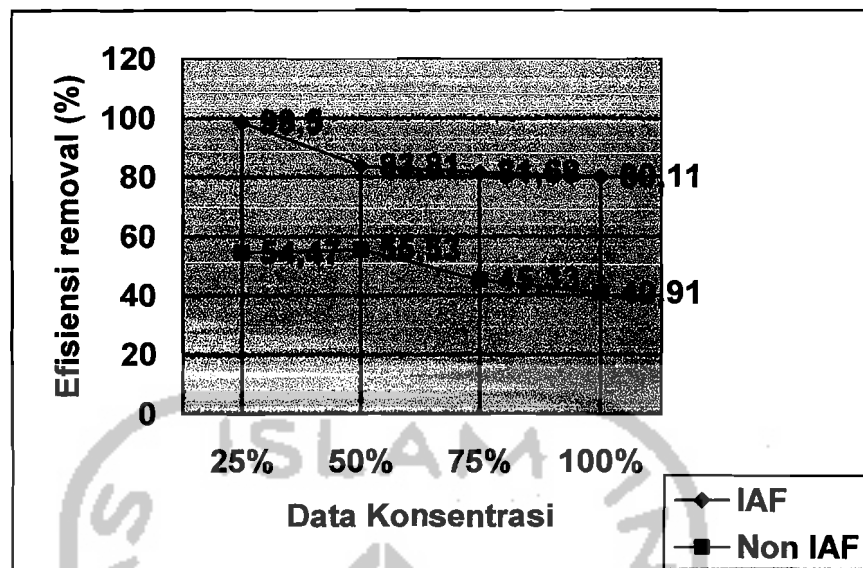
Penurunan konsentrasi limbah lebih besar terjadi pada reaktor non tanaman kangkung, hal ini disebabkan oleh berbagai faktor diantaranya oleh formasi alga yang ada pada reaktor, kurangnya waktu detensi yang hanya 4 hari dan jauhnya jarak penanaman kangkung air pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air. Di dalam reaktor terdapat bahan organik dari air buangan dan sinar matahari yang masuk tanpa terhalangi oleh tanaman, memberikan energi dan nutrisi yang cukup untuk pertumbuhan alga dan bakteri dengan pesat. Pertumbuhan alga dan *cyanobacteria* yang pesat terjadi karena terpenuhinya kebutuhan dalam pertumbuhan yaitu adanya sinar matahari, nutrisi dan oksigen, dengan pertumbuhan paling tinggi pada saat keadaan temperatur tinggi dan hangat (Jack and Lamar, 1999). Hal ini dikemukakan juga dalam *kywater. Org.*, bahwa TSS dalam air terdiri dari bahan organik seperti alga, zooplankton, bakteri dan pengurai dan bahan anorganik seperti *silt, clay* dan lain-lain.

Padatan yang terdapat dalam air limbah pada reaktor non tanaman kangkung air ada yang langsung mengendap karena proses sedimentasi,

sedangkan untuk padatan halus menempel pada lapisan biofilm yang terdapat pada alga dan membentuk gumpalan besar dan berat kemudian mengendap, sedangkan penurunan TSS pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air kurang, disebabkan oleh jarak tanaman kangkung air yang terlalu jauh dan adanya daun-daun kangkung air yang layu dan jatuh ke dalam reaktor sehingga tempat untuk vegetasi alga tumbuh tidak ada, dan partikel-partikel halus hanya menempel pada lapisan biofilm yang ada pada akar halus, batang tanaman kangkung air dan daun yang jatuh.

4.4 Efisiensi Penurunan Fe

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi Fe limbah cair industri pengalengan jamur dengan menggunakan 2 jenis variasi perlakuan yaitu menggunakan tanaman kangkung air dan non tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica* Forsk), menunjukkan adanya penurunan konsentrasi yang cukup nyata terhadap waktu detensi limbah cair dalam reaktor.



Gambar 4.4 Efisiensi Rerata Penurunan Parameter Fe

Hasil penelitian meunjukkan bahwa penurunan konsentrasi Fe pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air lebih besar dibandingkan dengan penurunan konsentrasi yang terjadi pada reaktor yang non tanaman kangkung air.

Berdasarkan gambar 4.4 menunjukkan bahwa reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air, efisiensi penurunan yang terjadi pada konsentrasi limbah 25 % dengan efisiensi penurunannya adalah 98,50 %, untuk konsentrasi limbah 50 % efisiensi penurunannya adalah 83,81 %, untuk konsentrasi limbah 75 % efisiensi penurunannya adalah 81,68 % dan untuk konsentrasi limbah 100 % efisiensi penurunannya adalah 80, 11 %. Reaktor yang non tanaman kangkung air, pada konsentrasi limbah 25 % efisiensi penurunannya adalah 54, 47 %, untuk konsentrasi limbah 50 % efisiensi penurunannya adalah 55,53 %, untuk

konsentrasi limbah 75 % efisiensi penurunannya adalah 45,33 % dan untuk konsentrasi limbah 100 % efisiensi penurunannya adalah 40,91 %.

Perbedaan penurunan pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air dan yang non tanaman kangkung air dipengaruhi oleh aktivitas tanaman kangkung air itu sendiri dan faktor mikroorganisme. Penurunan kadar Fe oleh tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica Forsk*) dimulai dengan aktivitas mikroorganisme dan tanaman dalam *Constructed wetland*. Proses pengolahan dalam *Constructed wetland* sangat bergantung pada aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan tanaman. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa aktivitas mikroorganisme ini sangat bergantung pada aktivitas akar tanaman dalam sistem *Constructed wetland* untuk mengeluarkan oksigen (Gopal, 1999 dalam Siswoyo, E., 2002).

Mekanisme penurunan kadar besi (Fe) oleh tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica Forsk*) terjadi karena proses penyerapan air dan unsur hara yang lain oleh akar. Hasil penguraian besi (Fe) yang telah berbentuk ion Fe^{2+} kemudian diserap oleh bulu-bulu akar melalui proses difusi yaitu berdifusi dari daerah yang defisit tekanan difusinya kecil ke daerah yang defisit tekanan difusinya besar. Makin masuk kedalam akar, konsentrasi sel-selnya makin tinggi, hal ini berarti makin masuk kedalam akar, defisit tekanan difusinya makin besar. Kemudian melalui *xylem* menuju ke daun, di daun Fe^{2+} digunakan oleh tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica Forsk*) untuk pembentukan klorofil dalam proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen melalui batang dan akar.

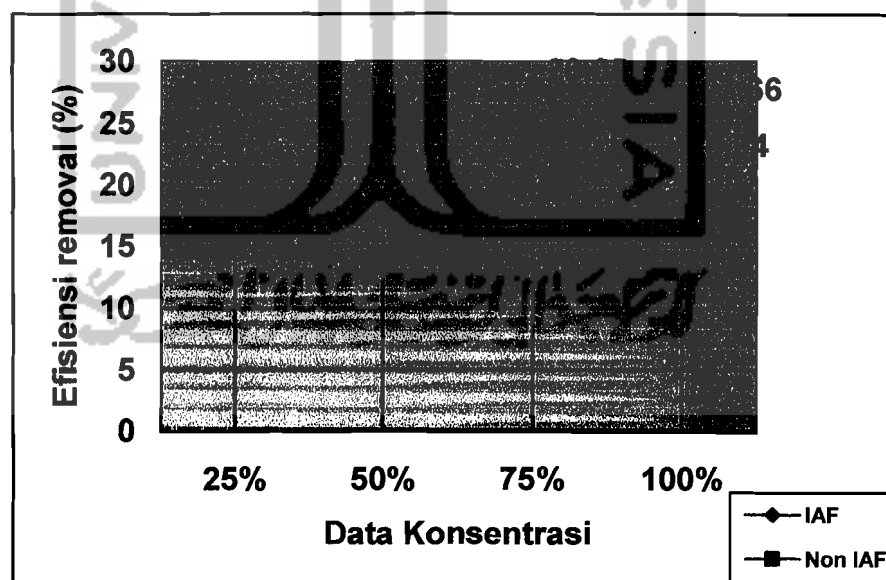
Oksigen yang dihasilkan digunakan oleh mikroorganisme *rhizofera* untuk kembali mengoksidasi atau menguraikan bahan-bahan organik yang masih tersisa. Demikian seterusnya siklus penguraian dan penyerapan unsur hara berputar atas dasar hubungan simbiosis mutualisme antara mikroorganisme *rhizofera* dengan tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica Forsk*). Melalui siklus simbiosis ini akan terjadi pengurangan kadar bahan-bahan yang berdampak terhadap penurunan bahan pencemar dalam sumber air limbah.

Untuk dapat hidup tumbuhan memerlukan zat makanan (unsur hara) yang diambil dalam molekul melalui daun, tetapi umumnya unsur hara diambil oleh tumbuhan dalam bentuk ion-ion molekul akar dari dalam tanah. Makin panjang akar, akan makin tersedia unsur hara bagi tanaman, demikian juga bila makin besar sistem perakaran dan pertambahan volume percabangan akar, akan meningkatkan penyerapan unsur hara dari dalam tanah. Unsur esensial adalah unsur yang sangat diperlukan, sehingga ketidakhadiran unsur ini, menyebabkan tanaman tidak melakukan siklus hidup yang lengkap. Penemuan elemen atau unsur yang sangat diperlukan oleh tanaman untuk melakukan fotosintesis. Unsur-unsur kimia di alam umumnya dibagi menjadi dua kelompok, berdasarkan atas jumlah yang dibutuhkan tanaman, yaitu : Dibutuhkan dalam jumlah yang sangat kecil biasanya kurang dari 50 ppm dalam tanaman, contoh : besi (Fe), boron (Bo), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), molybdenum (Mo), kobalt (Co), khlor (Cl), empat dari unsur mikro sebagai kation dan tiga sebagai anion (Ray, 1979).

Proses penyerapan unsur hara oleh tumbuhan diawali dari hasil penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme akan diserap oleh tanaman kangkung (*Ipomoea aquatica Forsk*) dalam jumlah besar. Hal ini disebabkan karena Fe termasuk dalam elemen mikro, yaitu unsur-unsur hara yang diperlukan dalam jumlah yang cukup besar (Dwijoseputro, 1986).

4.5 Efisiensi Penurunan Mg

Efisiensi penurunan Mg yang kecil bisa disebabkan oleh Komposisi hara mineral dalam tubuh tanaman tidak dapat digunakan secara langsung untuk menentukan apakah hara-hara tersebut merupakan hara esensial bagi pertumbuhan tanaman (Hartman *et al.*, 1981).



Gambar 8. Efisiensi Rerata Penurunan Parameter Mg

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan kadar Mg pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air dan pada reaktor non tanaman kangkung air hampir tidak jauh berbeda. Pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air, untuk konsentrasi limbah 25 % efisiensi penurunan yang terjadi sebesar 12,15 %, untuk konsentrasi limbah 50 % efisiensi penurunan sebesar 17,10 %, untuk konsentrasi limbah 75 % efisiensi penurunan sebesar 27,58 % dan untuk konsentrasi limbah 100 % efisiensi penurunan sebesar 27,66 %. Pada reaktor yang non tanaman kangkung air, 25 % efisiensi penurunan yang terjadi sebesar 15,05 %, untuk konsentrasi limbah 50 % efisiensi penurunan sebesar 14,12 %, untuk konsentrasi limbah 75 % efisiensi penurunan sebesar 28,05 % dan untuk konsentrasi limbah 100 % efisiensi penurunan sebesar 26,94 %. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman kangkung air berpengaruh pada penurunan Mg tetapi dengan efisiensi penurunan yang kecil.

Hara mineral yang dibutuhkan oleh tanaman dikelompokkan sebagai hara esensial paling tidak harus memenuhi 3 kriteria (Epstein, 1972), yaitu : 1) tanpa kehadiran hara tersebut maka tanaman tidak dapat menyelesaikan siklus hidupnya, 2) fungsi hara tersebut tidak dapat digantikan oleh hara yang lain, dan 3) hara tersebut secara langsung terlibat dalam metabolisme tanaman yaitu sebagai komponen yang dibutuhkan dalam reaksi-reaksi enzimatik. Dengan demikian, sangatlah sulit untuk meng-generalisir apakah suatu hara mineral tertentu termasuk esensial atau non esensial, karena hara mineral yang satu bisa bersifat

esensial bagi tanaman tertentu tetapi sebaliknya tidak esensial bagi jenis tanaman yang lain.

Untuk tanaman tingkat tinggi terdapat 13 jenis hara esensial yang terdiri atas kelompok hara makro (N, P, K, S, Mg dan Ca) dan kelompok hara mikro (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo dan Cl) (Janick *et al.*, 1974; Hartman *et al.*, 1981; Baligar dan Duncan, 1990). Selanjutnya Brown *et al.* (1987 dalam Salisbury dan Ross, 1992) menyajikan daftar unsur hara esensial dan konsentrasinya dalam jaringan yang diperlukan agar tumbuhan dapat tumbuh dengan baik (Tabel 1). Disebutkan bahwa nilai konsentrasi tersebut menjadi pedoman yang berguna bagi para ahli fisiologi, pengelola kebun dan petani, karena konsentrasi unsur-unsur dalam jaringan (terutama dalam daun terpilih) lebih dapat dipercaya dari analisis tanah untuk menunjukkan apakah tanaman akan tumbuh lebih baik dan/atau lebih cepat jika unsur tertentu diberikan lebih banyak.

Perbedaan yang terjadi pada efisiensi penurunan pada Mg, pada konsentrasi limbah 25 % naik sedangkan pada konsentrasi limbah 50 % turun dan begitu juga yang terjadi pada konsentrasi limbah 50 % dan 100 %. Hal ini disebabkan oleh pertumbuhan tanaman (dinyatakan dalam bahan kering) dalam hubungannya dengan persediaan hara mineral dapat digambarkan dalam bentuk kurve respon pertumbuhan (Gambar 2.3). Dalam gambar tersebut dapat dilihat hara mineral dalam hubungannya dengan pertumbuhan dikelompokkan menjadi 3 daerah. Pertama; zone kahat/defisien (*deficient range*) yaitu laju pertumbuhan meningkat dengan meningkatnya persediaan hara, kedua; zone cukup (*adequate*

range) yaitu laju pertumbuhan telah mencapai maksimum dan pada keadaan itu tidak dipengaruhi oleh persediaan hara tanah, dan ketiga; zone toksik (*toxic range*) yaitu laju pertumbuhan menurun dengan meningkatnya persediaan hara (Marschner, 1986).

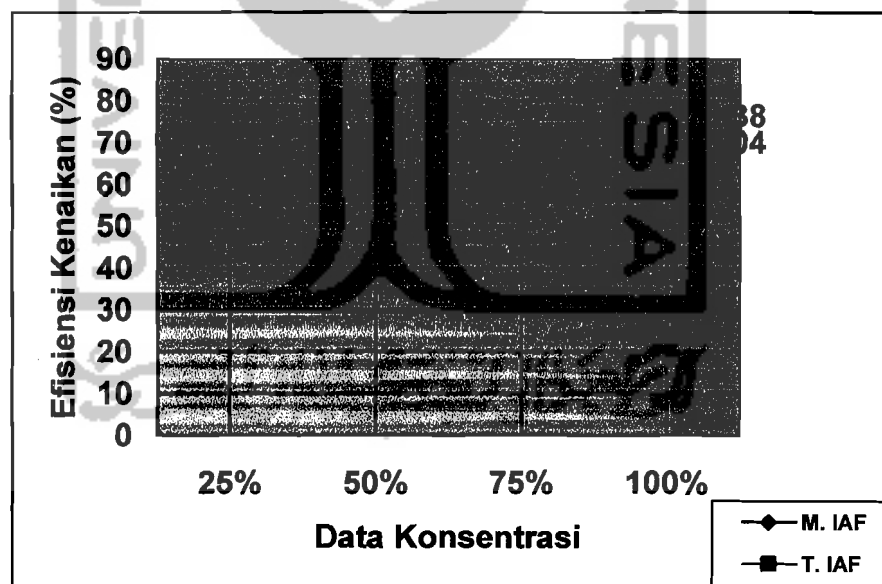
Dalam produksi tanaman, suplai hara optimal biasanya dilakukan melalui pemupukan. Aplikasi pemberian pupuk yang rasional membutuhkan informasi jumlah hara yang tersedia dalam tanah serta status nutrisi pada jaringan tanaman. Pendekatan yang dapat dilakukan adalah disamping dengan melakukan analisis kandungan hara tanah tersedia juga dengan analisis status hara tanaman. Analisis status hara tanaman dapat dilakukan berdasarkan diagnosis gejala visual dan/atau analisis tanaman sebagai dasar untuk rekomendasi apakah diperlukan pemupukan atau tidak, pupuk jenis apa yang diperlukan dan berapa jumlahnya (Grundon, 1987; Baligar dan Duncan, 1990).

Gambar 2.4 memperlihatkan gambaran ideal laju pertumbuhan sebagai fungsi dari konsentrasi suatu unsur dalam tumbuhan. Pada rentang konsentrasi rendah yang dinamakan daerah kahat, pertumbuhan naik sangat tajam bila unsur diberikan lebih banyak dan konsentrasinya dalam tumbuhan meningkat. Di atas konsentrasi kritis (konsentrasi jaringan minimum yang menghasilkan pertumbuhan hampir maksimum, sekitar 90%), kenaikan konsentrasi akibat pemupukan tidak banyak berpengaruh pada pertumbuhan (daerah berkecukupan). Daerah berkecukupan menunjukkan adanya pemakaian unsur secara berlebihan, akibat adanya penimbunan di vacuola. Daerah tersebut cukup lebar untuk hara

makro, tetapi lebih sempit untuk hara mikro. Kenaikan lebih lanjut dari unsur itu akan menyebabkan keracunan dan pertumbuhan yang menurun (daerah beracun) (Epstein 1972; Baligar dan Duncan, 1990).

4.6 Efisiensi Kenaikan DO

Ujicoba oksigen terlarut sangat penting untuk menjamin keadaan aerobik perairan yang menampung limbah. Dalam pengendalian pencemaran air, ikan, tetumbuhan dan binatang lain perlu berkembang biak. Hal ini perlu pemeliharaan oksigen terlarut yang dapat menunjang tata kehidupan di dalam air dengan keadaan yang sehat.



Gambar 4.6 Efisiensi Rerata Kenaikan Parameter DO

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai efisiensi DO yang terjadi pada mengalami kenaikan, hal ini menandakan bahwa kadar DO yang terkandung di dalam reaktor yang mengandung limbah tersebut menurun dan hal ini terjadi pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air maupun pada reaktor yang tidak menggunakan tanaman kangkung air. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.6.

Oksigen terlarut adalah oksigen yang terdapat dalam air (dalam bentuk molekul oksigen, bukan dalam bentuk molekul hidrogen oksida) dan biasanya dinyatakan dalam mg/L (ppm).

Penurunan yang terjadi pada reaktor dapat disebabkan oleh bakteri. Dalam air kotor selalu terdapat bakteri baik bakteri aerob maupun anaerob. Bakteri aerob akan menguraikan zat organik dalam air menjadi persenyawaan yang sederhana. Selama air mengandung bebas cukup banyak, maka yang bekerja atau tumbuh berkembang adalah bakteri aerob. Bakteri aerob akan merubah persenyawaan organik menjadi persenyawaan yang tidak berbahaya (yang dikehendaki manusia). Misalnya nitrogen dirubah menjadi persenyawaan nitrat, belerang dirubah menjadi persenyawaan sulfat. Bila oksigen bebas dalam air tersebut habis atau berkurang, maka yang bekerja atau tumbuh dan berkembang adalah bakteri anaerob. Bakteri anaerob ini merubah persenyawaan organik menjadi bentuk persenyawaan yang sederhana (tidak dikehendaki manusia). Misalnya nitrogen dirubah menjadi amoniak, belerang dirubah menjadi hidrogen sulfida, yang keduanya berbentuk gas dan berbau. Sehingga bila limbah terlalu banyak

mengandung kotoran, pasti akan mengeluarkan bau yang tidak enak karena kehabisan oksigen bebas sehingga mengeluarkan gas-gas yang berbau.

Oksigen larut dalam air dan tidak bereaksi dengan air secara kimiawi. Pada tekanan tertentu, kelarutan oksigen dalam air dipengaruhi oleh suhu. Faktor lain yang mempengaruhi kelarutan oksigen adalah olakan air dan luas permukaan air yang terbuka bagi atmosfer (Mahida, 1984).

Efisiensi penurunan DO pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air yang terjadi pada konsentrasi limbah 25 % sebesar 68,84 % sedangkan pada reaktor non tanaman kangkung air efisiensi penurunan sebesar 64,04 %.

Penurunan efisiensi yang terjadi baik pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air dan non tanaman kangkung air dari konsentrai limbah 50 % ke konsentrasi 75 % semakin kecil disebabkan oleh karena terbatasnya kelarutan oksigen dalam air, maka kemampuan air untuk membersihkan dirinya juga terbatas, sehingga diperlukan pengolahan air limbah untuk mengurangi bahan-bahan penyebab pencemaran, dan kenaikan efisiensi terjadi lagi pada konsentrasi limbah 100 % Oksidasi biologis meningkat bersama meningkatnya suhu perairan, sehingga kebutuhan oksigen terlarut juga meningkat. Keadaan demikian sangat membahayakan, karena pada suhu tinggi kelarutan oksigen dalam air menurun, sedangkan kebutuhan oksigen meningkat, sehingga dalam air dapat kekurangan oksigen. Berkurangnya oksigen dalam air sangat berpengaruh pada tata kehidupan air. Keadaan suhu tinggi ini terjadi terutama pada musim panas (Mahida, 1984).

4.7 Efisiensi Penurunan Optimal Parameter

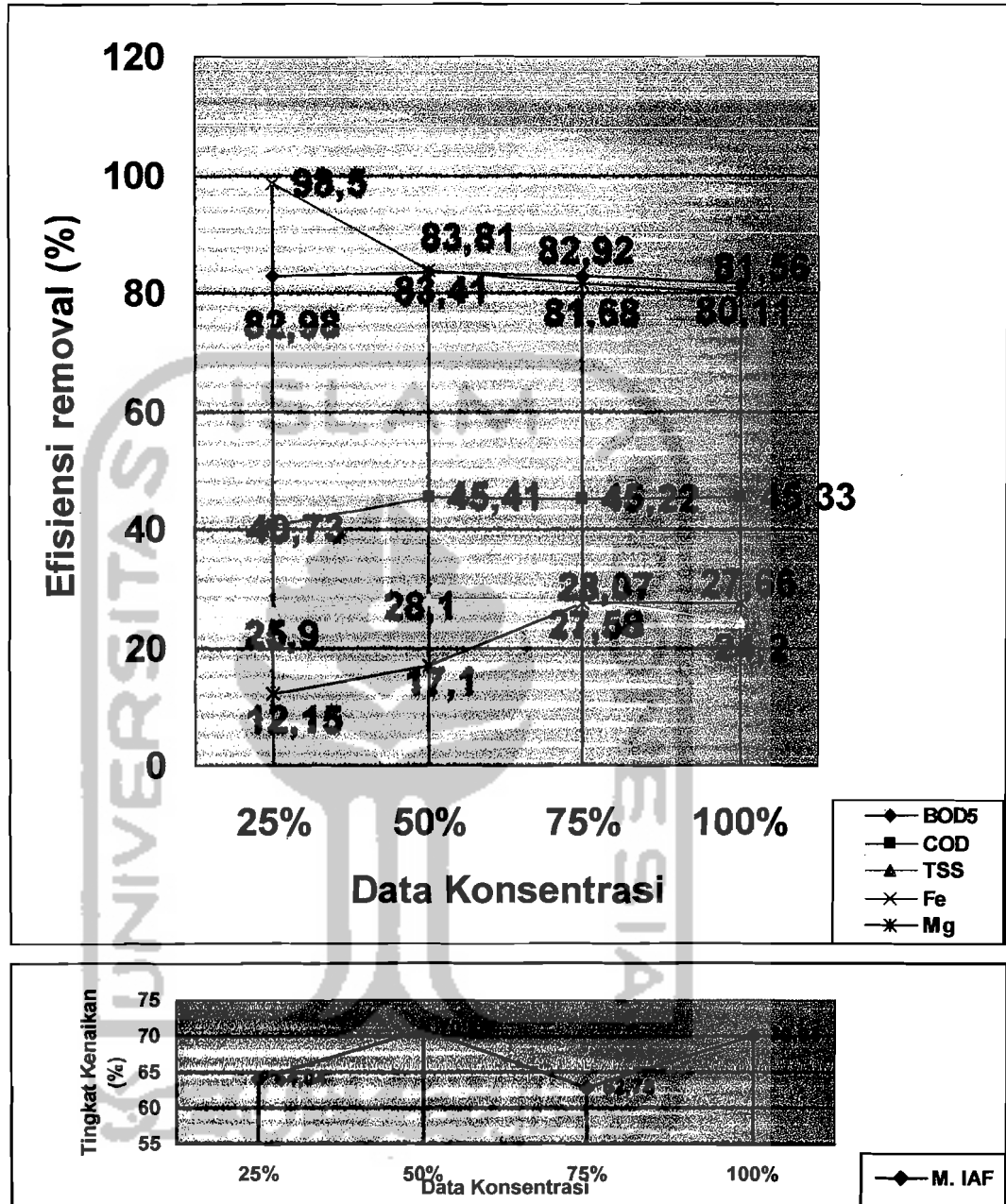
4.7.1 Menggunakan Tanaman Kangkung Air

Data hasil pengujian input dan output semua parameter yang menggunakan tanaman kangkung air dapat dilihat pada tabel di bawah :

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian I Menggunakan Tanaman kangkung Air

Parameter	Satuan	Konsentrasi							
		25 %		50 %		75 %		100 %	
		Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
BOD ₅	Mg/L	22	3,5	43,5	7,35	65	10,55	85	15,7
COD	Mg/L	43,2	26,57	89	45,07	135	71,65	180	97,518
TSS	Mg/L	26,7	18,9	56	44,85	84	53,75	108	82,6
Fe	Mg/L	0,485	0,013	1,195	0,21	1,663	0,298	2,35	0,496
Mg	Mg/L	3,65	3,18	6,6	5,57	9,84	7,065	213,6	10,15
DO	Mg/L	1,00	1,79	1,35	2,49	2,3	3,615,7	2,8	4,7

Dari hasil tabel di atas dapat diketahui besarnya efisiensi penurunan optimal yang terjadi pada konsentrasi limbah pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air, yang diplotkan dalam bentuk grafik sebagai berikut :



Gambar 4.7.1 Efisiensi optimal Parameter Yang menggunakan Tanaman kangkung Air

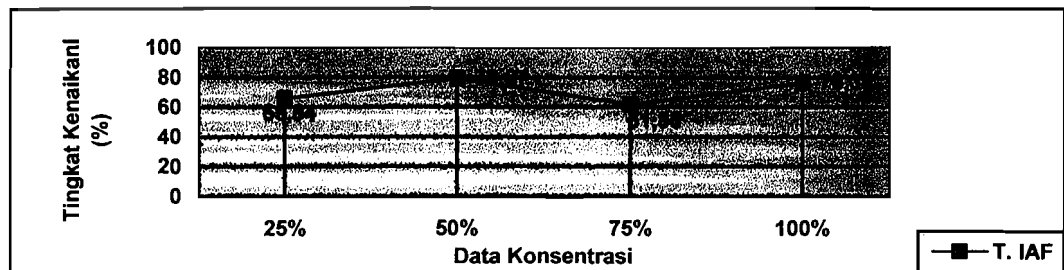
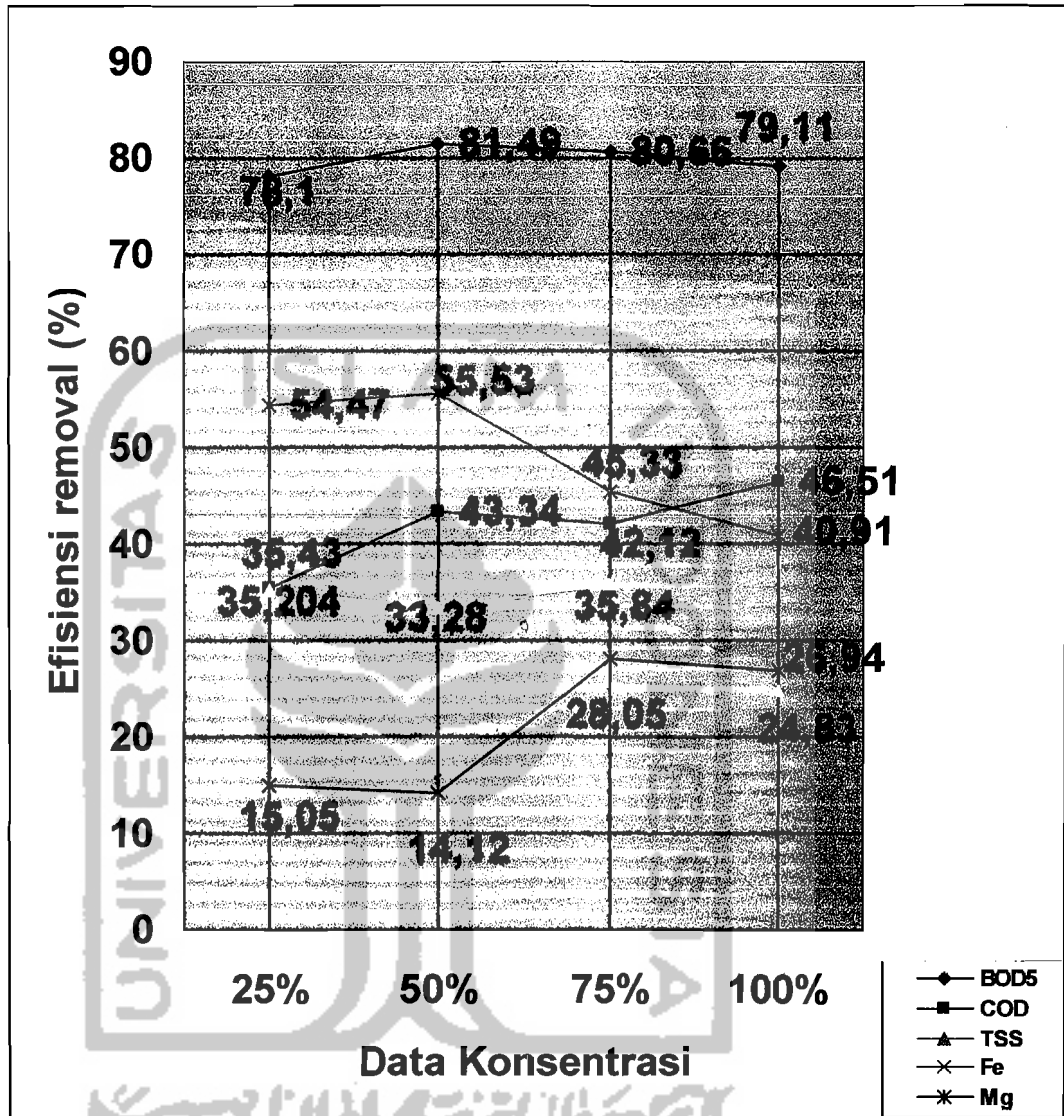
4.7.2 Non Tanaman Kangkung Air

Data hasil pengujian input dan output semua parameter yang menggunakan tanaman kangkung air dapat dilihat pada tabel di bawah :

Tabel 4.24,48 Data Hasil Pengujian NonTanaman kangkung Air

Parameter	Satuan	Konsentrasi							
		25 %		50 %		75 %		100 %	
		Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
BOD ₅	Mg/L	22	4,48	43,5	7,75	65	13,135	85	19
COD	Mg/L	43,2	27,6	89	49,75	135	77,6	180	94,5
TSS	Mg/L	26,7	16,9	56	35,8	84	52,75	108	77,5
Fe	Mg/L	0,485	0,225	1,195	0,517	1,663	0,951	2,35	1,389
Mg	Mg/L	3,65	3,39	6,6	5,35	9,84	6,75	213,6	10,35
DO	Mg/L	1,00	1,69	1,35	2,35	2,3	3,53	2,8	4,85

Dari hasil tabel di atas dapat diketahui besarnya efisiensi penurunan optimal yang terjadi pada konsentrasi limbah pada reaktor non tanaman kangkung air, yang diplotkan dalam bentuk grafik sebagai berikut :



Gambar 4.7.2 Efisiensi optimal Parameter Non Tanaman Kangkung Air

Efisiensi penurunan optimal pada parameter BOD₅, COD, TSS, Fe, Mg dan efisiensi kenaikan optimal parameter DO pada reaktor yang menggunakan tanaman kangkung air terjadi pada konsentrasi limbah 50 % (gambar 4.7.1), begitu juga yang terjadi pada reaktor yang non tanaman kangkung air, efisiensi penurunan optimal pada parameter BOD₅, COD, TSS, Fe, Mg dan efisiensi kenaikan optimal parameter DO terjadi pada konsentrasi 50 % (gambar 4.7.2).

4.8 Dampak Pengaliran Limbah Terhadap Fisiologi IAF

Seperti halnya tumbuhan aquatik lain, kangkung air (*Ipomoea aquatica Forsk*) mempunyai struktur yang spesifik baik akar, batang, maupun daunnya. Adapun sifat yang cepat berkembang dan bertoleransi terhadap lingkungan, menyebabkan kangkung air mulai banyak dimanfaatkan untuk pengendalian pencemaran air pada unit pengolahan limbah.

Adanya pengaliran limbah dari industri pengalengan jamur tidak berdampak pada fisiologi tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica Forsk*) hal ini diketahui dengan pengamatan terhadap tanaman kangkung air tersebut selama diberi perlakuan limbah cair jamur.

Tanaman kangkung air pada awal penanaman pada reaktor mempunyai tinggi 24 cm, panjang akar 15 cm, lebar daun 4,5 cm dan panjang daun 8 cm. Sebelum tanaman kangkung air diberi perlakuan limbah tanaman kangkung air tersebut dibiarkan beradaptasi terlebih dahulu dengan lingkungannya selama 4

hari, sehingga didapat tinggi tanaman kangkung air sesudahnya adalah 27 cm, lebar daun 4,5 cm dan panjang daun 8 cm.

Tinggi tanaman kangkung air tidak berpengaruh terhadap penyiraman limbah jamur, dapat dilihat di bawah ini :

1. 1 hari setelah penyiraman limbah : Tinggi tanaman kangkung air 29 cm, lebar daun 4,5 cm dan panjang daun 8 cm.
2. 2 hari setelah penyiraman limbah : Tinggi tanaman kangkung air 31,6 cm, lebar daun 4,54 cm dan panjang daun 8 cm.
3. 3 hari setelah penyiraman limbah : Tinggi tanaman kangkung air 33 cm, lebar daun 4,6 cm dan panjang daun 8 cm.
4. 4 hari setelah penyiraman limbah : Tinggi tanaman kangkung air 36 cm, lebar daun 4,6 cm dan panjang daun 8 cm.

Pertumbuhan tanaman kangkung air sangat cepat hal ini terjadi dengan proses pengambilan air dan mineral terutama dilakukan oleh akar muda. Air yang diserap oleh ujung akar dan melalui meristem ujung adalah sangat sedikit. Di daerah yang terdapat rambut-rambut akar berlangsung penyerapan mineral yang paling utama ion-ion secara selektif diangkut dan dihimpun oleh akar, sel-sel ujung akar yang tidak terdiferensiasi dan tidak bervokula, tidak menghimpun ion-ion tersebut masuk dan keluar dari sel-sel secara pasif, sel-sel bervokula dan terdiferensiasi yang besar dalam menimbun mineral.

Daun dan batang yang tenggelam dalam air mempunyai penyebaran kloroplas yang meningkat dengan kutikula yang tereduksi. Absorpsi gas juga

dipermudah karena dinding tipis epidermis dan jaringan disebelah dalamnya.

Kutikula biasanya tidak ada pada organ yang tenggelam (Fahn, 1991).

