

# UJI EKOTOKSISITAS MIKROBIAL UNTUK PENENTUAN BEBAN VOLUMETRIK SUATU PARAMETER MUTU DALAM PENGOLAHAN MIKROBIAL AIR DAN LIMBAH

## MICROBIAL ECOTOXICITY TEST TO DETERMINE VOLUMETRIC MASS IN PARAMETER QUALITY OF MICROBIAL TREATMENT IN WATER AND WASTEWATER

Sarwoko Mangkoedihardjo<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – ITS

### Abstrak

Kelemahan metode konvensional melatar belakangi uji ekotoksitas mikrobial bagi pengolahan mikrobial air dan limbah. Berdasarkan studi pustaka dapat ditarik suatu hipotesis bahwa ada kemungkinan korelasi antara Beban Volumetrik (BV) dan konsentrasi zat pada tingkatan gangguan aktivitas mikrobial sebesar 50 % (EC – 50 – TD). Dengan metode uji ekotoksitas mikrobial yeast dalam kondisi lingkungan anaerobik selama 2 jam. Kemungkinan itu dicari untuk parameter mutu COD, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Mn<sup>2+</sup> dan Fe<sup>2+</sup>. Hasil dari riset dimaksud memberi informasi tingkatan BV dan EC – 50 – 2 jam dan kebenaran ada korelasi diantara keduanya; yaitu BV bisa ditingkatkan sepanjang konsentrasi zat masukan ke reaktor mikrobial diperkecil atau sebaliknya.

Kata kunci : air limbah, beban volumetrik, mikrobial, uji ekotoksitas

### Abstrak

The weakness of conventional method is background the test of ecotoxicity mikrobial for processing mikrobial water and wastewater. From study we can hypothesis that there is correlation among volumetric mass and concentration level activity mikrobial equal to 50 % ( EC - 50 - TD). With the method test of ecotoxicity mikrobial yeast in a anaerobik condition during 2 hours, that possibility searched for the parameter quality of COD, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Mn<sup>2+</sup> and Fe<sup>2+</sup>. From the result give information of level of BV and EC - 50 - 2 hours and correlation between both of them; that is BV can be increasing as long as concentration input to the reactor mikrobial minimized or on the contrary.

Keywords : wastewater, volumetric mass, mikrobial, ecotoxicity test

## 1. PENDAHULUAN

Pengolahan air limbah dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa macam pengolahan. Untuk menentukan jenis pengolahan yang dilakukan diperlukan desain yang sesuai. Desain pengolahan air limbah biasanya menggunakan metode empiris. Contoh metode empiris adalah *Facultative Pound* untuk daerah tropis maupun non tropis. Dengan formulasi seperti pada Persamaan 1.

$$L = 10,37 + 0,725 \cdot Lo \quad (1)$$

Sedangkan menurut Middlebrook (1988) menjabarkan persamaan empiris tersebut menjadi dalam dua persamaan yang dapat dilihat pada Persamaan 2 dan Persamaan 3 berikut ini.

$$L = \frac{(\text{BODs influen} - \text{BODs effluen}) (\text{Debit effluen})}{\text{Area}} \quad (2)$$

$$Lo = \frac{(\text{BODs influen}) (\text{Debit effluen})}{\text{Area}} \quad (3)$$

dimana :

L = Penurunan areal BODs (kg/ha/h)

Lo = Beban awal BODs (kg/ha/h)

Pada desain pengolahan air denitrifikasi mikrobial, Dries (1988) melaporkan terjadi penurunan volumetrik pada reaktor denitrifikasi dan dapat diformulasikan seperti pada Persamaan 4 berikut :

$$\text{BVP} = \frac{(\text{parameter mutu inf} - \text{parameter mutu efl}) \times (\text{debit inf})}{\text{volume reaktor}} \quad (4)$$

Penurunan volumetrik memberi penekanan pada volume reaktor. Meskipun belum tersedia korelasi antara BVP dengan beban volumetrik suatu parameter mutu (BV), beban volumetrik ini dapat diformulasikan pada Persamaan 5 di bawah ini :

$$BV = \frac{(\text{parameter mutu influen} \times \text{debit influen})}{\text{volume reaktor}} \quad (5)$$

Penggunaan BV telah dilakukan Mangkoedihardjo (1988, 1990) bagi pengamatan pertumbuhan mikrobal granular dalam reaktor *Up Flow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) dan denitrifikasi air dalam reaktor Polyurethane (PU).

Metode ini mempunyai kelemahan yaitu hasil pengolahan tidak efisien dan monitoring proses mikrobal membutuhkan waktu yang panjang. Monitoring merupakan pekerjaan amat penting bagi efisiensi pengolahan air dan limbah dan bagi penjagaan mutu produk.

Metode uji ekotoksitas mikrobal untuk penentuan beban volumetrik suatu parameter mutu dalam pengolahan mikrobal air dan limbah membuktikan adanya korelasi kuat antara konsentrasi efek 50 (EC – 50) suatu parameter mutu dengan beban volumetrik suatu parameter mutu.

Konsentrasi efek 50 (EC – 50) didefinisikan sebagai besaran polutan (mg/l atau atau sejenisnya) yang memberi efek negatif 50 % biota uji (jumlah, aktivitas respirasi atau sejenisnya) dalam suatu lingkungan tertentu.

Parameter mutu yang akan diambil dalam kajian ini adalah polutan yang telah diketahui memberi fakta efek negatif bagi aktivitas mikrobal yaitu COD,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Mn}^{2+}$ .

Mikrobal sebagai media pemrosesan polutan dari struktur rumit menjadi struktur sederhana, dari sifat toksis menjadi non toksik, dari status terbuang menjadi status bermanfaat atau kebalikan dari semua itu, bisa berlangsung secara alamiah. Karena kemampuannya itu orang yang berupaya mengambil kekayaan alam (mikrobal) yang tidak pernah habis maka berkembanglah cabang teknologi dalam hal ini mikrobioteknologi.

Mikrobiteknologi air bersih memberi contoh denitrifikasi, yaitu penurunan bahaya polutan nitrat (yang mudah terkonversi menjadi nitrat toksik dalam lambung bayi muda) menjadi gas nitrogen

yang tak berbahaya. Dari contoh mikrobioteknologi air limbah adalah konversi limbah organik yang menjadi bionomus dan biogas (bihugas) yang tentu saja merupakan produk bahan berharga.

Pengamatan dinamika mikrobal menggunakan pendekatan pertumbuhan sel yang diformulasikan sebagai Persamaan 6 dan Persamaan 7.

$$\frac{dx}{dt} = \mu x - bx \quad (6)$$

dimana :

$$\frac{dx}{dt} = \text{Kecepatan pertumbuhan sel g sel berat kering/h}$$

x = g sel berat kering yang disediakan

b = Koefisien kematian sel  $\text{h}^{-1}$

$$\mu = \frac{(\mu_{\text{maks}})}{(K_s + S)} \quad (7)$$

dimana :

$\mu$  = kecepatan pertumbuhan spesifik,  $\text{h}^{-1}$ .

$\mu_{\text{maks}}$  = kecepatan maksimum pertumbuhan spesifik  $\text{h}^{-1}$ .

s = konsentrasi substrat, g/l.

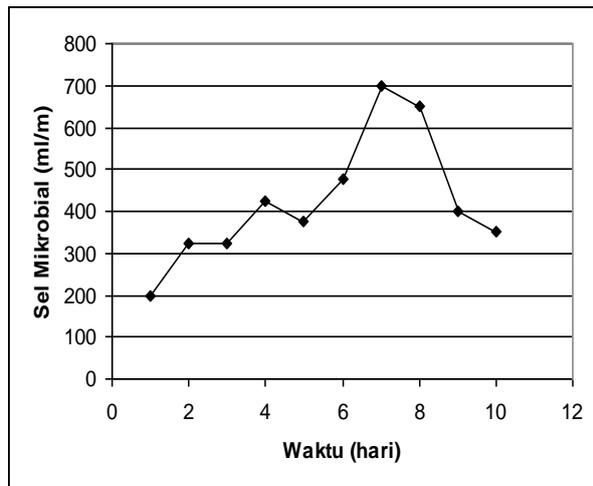
$K_s$  = afinitas sel terhadap substart pada 50 % pertumbuhan spesifik , g/l

Pengamatan dinamika mikrobal dalam reaktor UASB telah dilakukan Mangkoediharjo (1988) dengan mengekspresikan kecepatan pertumbuhan sel sebagai ml sel / h. Volume reaktor aktif sebesar 1.1 debit influen reaktor ditetapkan konstan 8 l/h , konsentrasi organik terlarut bervariasi 2,0 ; 4,0 ; 8,0 ; 16,0 ; 32,0 ; 64,0 ; nominal g COD/e. Maka BV reaktor UAS B itu masing masing 16,0 ; 32,0 ; 64,0 ; 128,0 ; 256,0 ; 512,0 nominal g COD/e reaktor/h. Sumber COD adalah sama yaitu vinasse.

Kondisi lingkungan reaktor dijaga yaitu : temperatur  $28 \pm 3$  °c PH larutan reaktor  $7,2 \pm 0,3$ ; nutrisi larutan diperkaya nitrogen, fosfor, kalsium, magnesium, kobalt, natrium, manganes, besi dan nikel; dengan kondisi an aerobik. Dengan demikian, pengamatan kecepatan pertumbuhan sel semata-mata dipengaruhi BV COD.

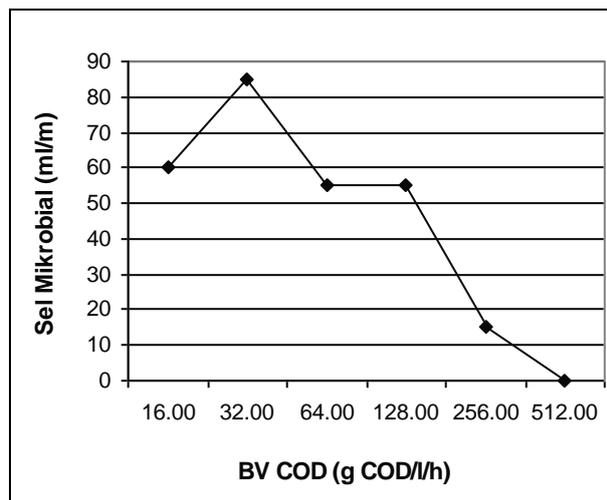
Hasil pengamatan penting disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2, masing-masing menunjukkan pertumbuhan sel dengan variabel waktu dan kecepatan

pertumbuhan sel dengan variabel beban volumetrik COD.



**Gambar 1.** Pertumbuhan Sel Dengan Variabel Waktu

Sumber : Mangkoedihardjo, 1988



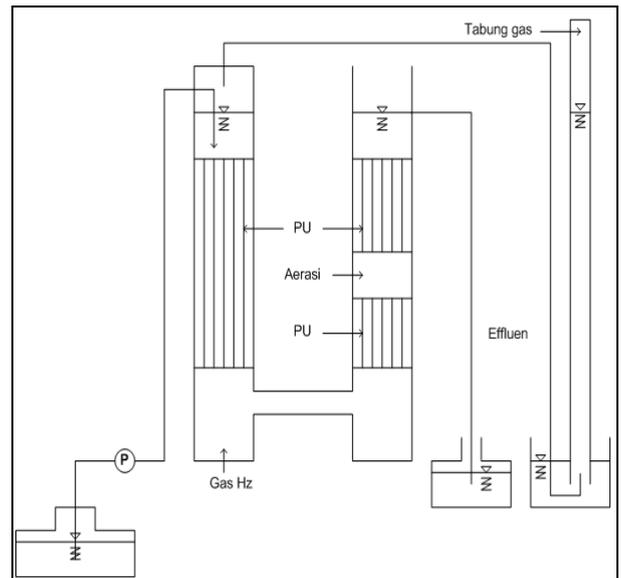
**Gambar 2.** Kecepatan Pertumbuhan Dengan Variabel BV COD

Sumber : Mangkoedihardjo, 1988

Berbeda dengan pendekatan pengamatan dinamika mikrobial dalam reaktor UASB, pendekatan untuk reaktor DAFB – PU ini adalah ekspresi aktivitas mikrobial, yaitu efisiensi penurunan polutan berikut :

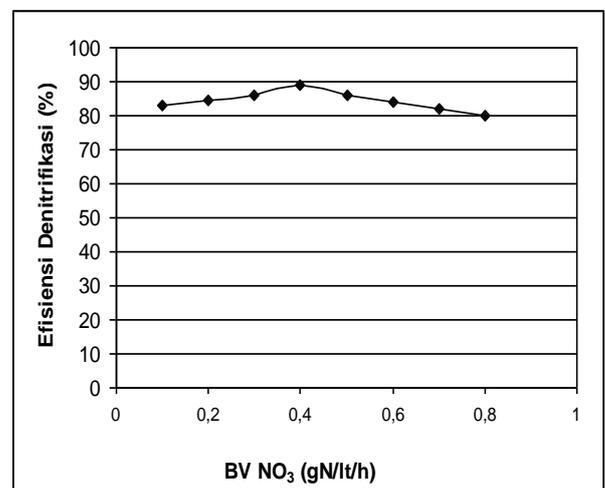
$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{(\text{Polutan influen}) - (\text{Polutan efluen})}{(\text{Polutan influen})} \quad (8)$$

DAFB – PU dikonstruksi sebagai reaktor pengolahan mikrobial air bersih seperti diketengahkan pada Gambar 3, guna penurunan konsentrasi polutan nitrat (Mangkoedihardjo 1990).



**Gambar 3.** Reaktor Pengolahan Mikrobial Down Flow Anoxic Fixed Bed-Poly Urethane Untuk Penurunan Konsentrasi Polutan Nitrat

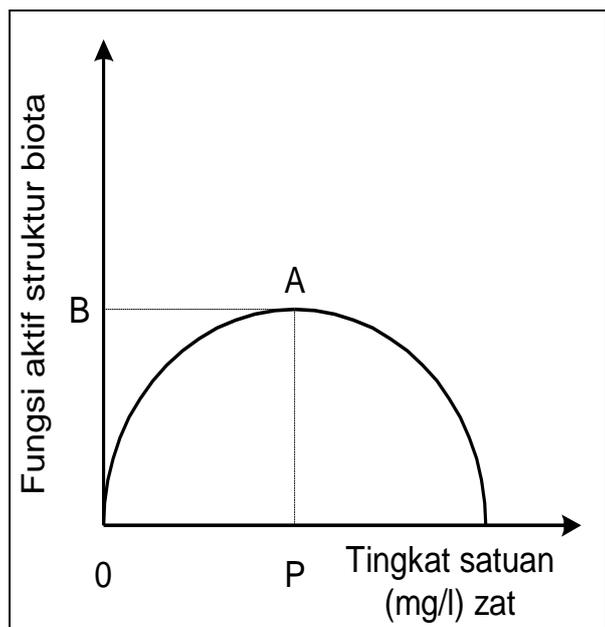
Dengan mempertahankan rasio N/P sebesar 34/1 untuk menjaga ketiadaan nitrit, memberi petunjuk bahwa dengan peningkatan BV nitrat diantara 0,6 dan 0,8 gr NO<sup>-3</sup> – N/e reaktor/h terjadi penurunan efisiensi denitrifikasi. Gambar 4 menggambarkan peristiwa tersebut.



**Gambar 4.** Efisiensi Denitrifikasi Dengan Variabel BV NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N

Sumber : Mangkoedihardjo, (1990)

Secara umum, Liebig – Dhellford menetapkan bahwa zat diprlukan untuk memenuhi aktivitas struktur biota, berfungsi baik dan bahwa pada tingkat tertentu zat itu mulai mengganggu fungsi aktif struktur biota. Secara kualitatif, hukum dimaksud dapat ditinjau pada Gambar 5 berikut :

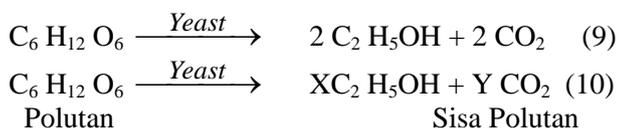


Gambar 5. Diagramatik Kualitatif Hukum Liebig-Shellford.

Mikrobioteknologi dapat menempati posisi O<sub>Pi</sub>, yaitu membangun kekuatan mikrobial pada titik B sehingga dapat mengasimilasikan polutan P; dan pengujiannya disebut sebagai Biodssay (Rand dan Petrocelli, 1988) efek toksik polutan terhadap biota yaitu mulai dari polutan P sampai pada tingkat yang menurunkan kekuatan fungsi aktif struktur biota sebagai posisi studi ekotoksikologi.

Efek toksik polutan dapat diidentifikasi melalui ekspresi mikrobial yang disesuaikan dengan mikrobial uji. Pada umumnya ekspresi mikrobial dapat dipilih antara kematian, gangguan, pertumbuhan sel, gangguan ektivitas sel, gangguan respirasi dan juga gangguan fermentasi.

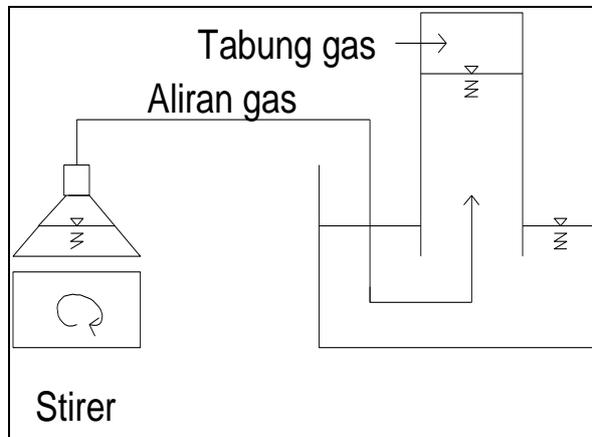
Prinsip ekspresinya dalam menerima polutan dapat diamati pada Persamaan 9 dan Persamaan 10 di bawah ini :



Tanpa pembebanan pelutan, volume stoikiosmetrik CO<sub>2</sub> untuk trap 1 gr glukosa/l<sub>t</sub> dan pada kondisi ideal, adalah sebanyak 250 ml. Dengan pembebanan polutan; molaritas CO<sub>2</sub> (Y) lebih kecil dari molaritas tanpa pembebanan polutan, dengan demikian volumenya kurang dari 250 ml. Makin besar konsentrasi polutan pengurangan volume CO<sub>2</sub> menjadi makin besar.

## 2. METODOLOGI

Dalam kerangka pokok pembuktian hipotesis dan tujuan yang akan dicapai, reaktor uji ekotoksisitas mikrobial dikonstruksi sebagaimana ditunjuk pada Gambar 6 sebagai tipikal :



Gambar 6. Tipikal Reaktor Uji Ekotoksisitas Mikrobial

Penggunaan organik polutan yang dapat diuraikan mikrobial adalah COD larut, dalam penelitian ini sumber COD akan dipilih yang dapat mensubstitusi vinasse, yaitu glukosa (C<sub>6</sub> H<sub>12</sub> O<sub>6</sub>) dan ditambah larutan standar COD (Dries, 1988), dan polutan nitrat, pospat, manganes dan Paesi. Konsentrasi nominal yaitu ditetapkan maximal sebesar 2 x (dua kali) konsentrasi maksimal, yang menghasilkan optimal pengolahan air dan limbah dalam reaktor-reaktor UASB dan DAFB – UP.

Kondisi lingkungan di dalam reaktor uji ekotoksisitas ini maupun luarnya disesuaikan dengan kondisi lingkungan pengolahan air dalam reaktor DAFB – PU. Teknik operasional uji ekotoksisitas digunakan teknik uji statik yaitu sekali polutan dieksposkan ke dalam media uji tidak diperlukan penggantian atau pembaharuan polutan ataupun medianya. Pada satu unit reaktor uji disediakan 3 unit reaktor uji kontrol dan 3 serial unit 2x reaktor uji ekotoksisitas. Diagram unit-unit reaktor uji seperti terlihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Unit Reaktor Uji

K	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>n</sub>
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Dimana :

1,2,3 adalah nomor seri

K adalah reaktor uji kotrol

E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, .... E<sub>n</sub> adalah reaktor uji ekotoksisitas mikrobial mulai dari konsentrasi polutan terkecil sampai terbesar yang direncanakan.

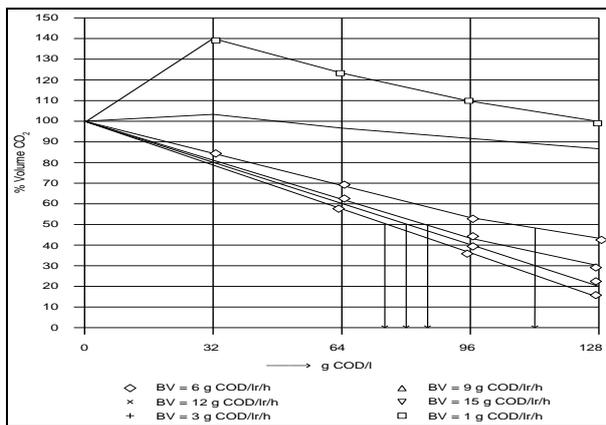
O adalah unit reaktor.

Untuk dapat melakukan penilaian E – 50 – 2 jam, waktu pengujian teknik uji statistik itu akan berlangsung setidaknya 2 jam. Dan setiap periode waktu ½ jam, perubahan volume gas CO<sub>2</sub> dalam tabung gas akan diamati. Hasilnya adalah hubungan antara perubahan volume gas CO<sub>2</sub> dan waktu, rata-rata tiap konsentrasi polutan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

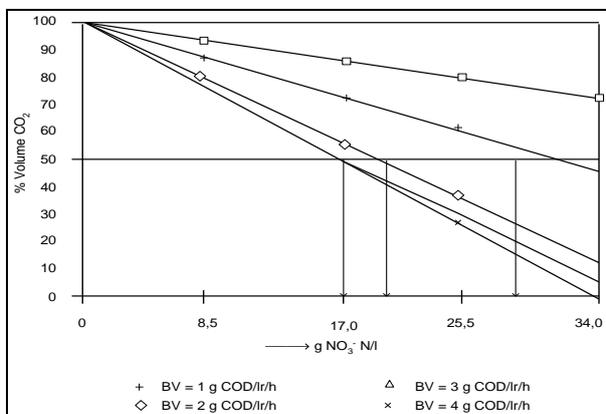
Raktor-reaktor uji parameter mutu yang diteliti menghasilkan CO<sub>2</sub> yang bervariasi sesuai dengan variasi konsentrasi parameter mutu pada beban volumetrik konstan dan variasi beban volumetrik parameter mutu pada konsentrasi konstan.

Konsentrasi COD maksimal yang dicoba adalah sebesar 128 gr COD/l. Beban volume trik COD maksimal yang dipakai sebesar 15 gr COD/l/h. Hasil percobaan disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. (COD) – vs - % Volume CO<sub>2</sub>

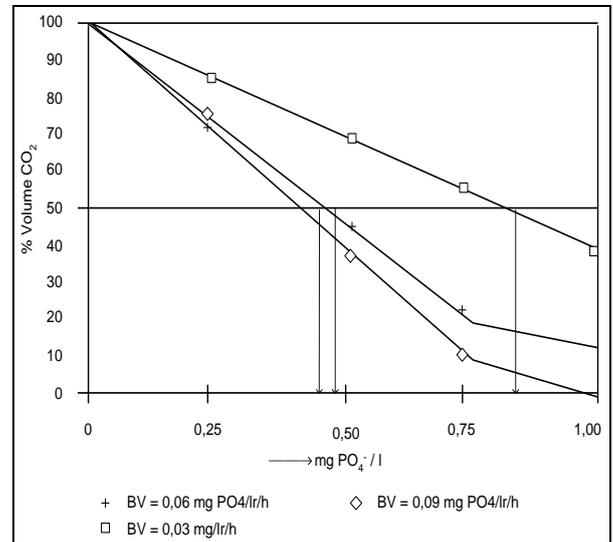
Konsentrasi maksimal Nitrat-Nitrogen sebesar 34 gr NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N/l, sedangkan volumetrik maksimal yang dipakai adalah 4 gr NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N/l. Hasil percobaan disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. (NO<sub>3</sub>.N)- vs - % Volume CO<sub>2</sub>

Konsentrasi fosfat yang digunakan maksimal sebesar 1 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> - P/l/h.

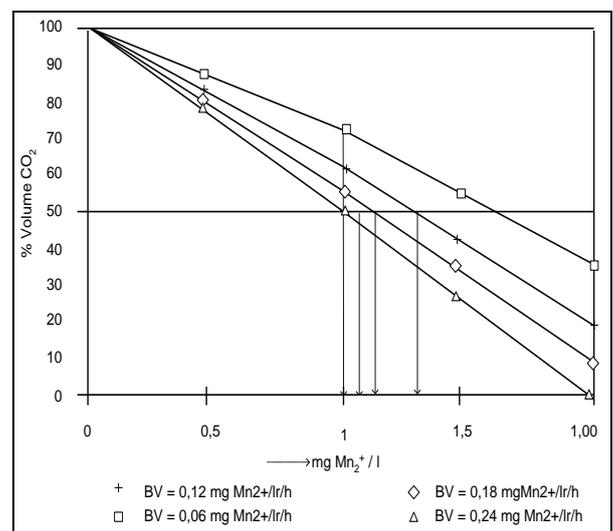
Gambar 9 menampilkan hasil percobaan yang dilakukan.



Gambar 9. (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P) – vs - % Volume CO<sub>2</sub>

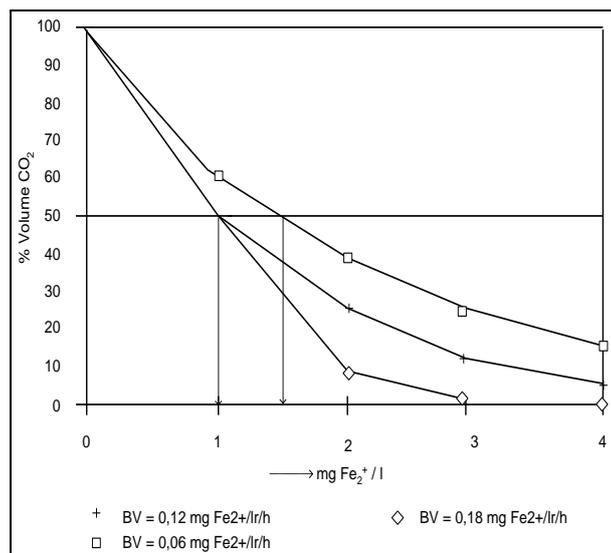
Konsentrasi Mangan terbatas 2 mg Mn<sup>2+</sup>/lt dan dengan debit pembubuhan maksimal 5 ml/2 jam, beban volumetrik maksimal adalah sebesar 0,24 mg Mn<sup>2+</sup>/lt/h.

Efeknya terhadap aktivitas mikrobial yeast disajikan pada Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. (Mn<sup>2+</sup>) – vs - % Volume CO<sub>2</sub>

Konsentrasi maksimal besi terhadap 4 m,g Fe<sup>2+</sup> /lt dan beban voluetrik maksimal sebesar 0,4 mg Fe<sup>2+</sup> /lt. Efek konsentrasi besi terhadap mikrobial yeast diketengahkan pada Gambar 11.



Gambar 11. ( $\text{Fe}^{2+}$ ) – vs - % Volume  $\text{CO}_2$

Hasil percobaan elektrositas untuk COD khususnya yang bersumber karbon glukosa menunjukkan ada tingkat BV yang mendukung aktivitas mikrobia uji. Ini menunjukkan juga dampak positif suatu zat sesuai hukum Liebig. BV COD di atas BV COD tersebut dan juga untuk parameter mutu uji lainnya menunjukkan efek toksisitas yang mengikuti Hukum Shelford. Khusus perihal ini diinformasikan pada tabulasi di bawah yang merupakan hasil riset.

Tabel 2. Hasil Percobaan

Parameter	Bv	EC – 50 – 2 jam	
COD	15	g/lr/h	74 g/l
	12	g/lr/h	80 g/l
	9	g/lr/h	83 g/l
	6	g/lr/h	114 g/l
NO <sub>3</sub> (-)	4	g/lr/h	17 g/l
	3	g/lr/h	18 g/l
	2	g/lr/h	32 g/l
PO <sub>4</sub> (3-)	0,09	mg/lr/h	0,46 mg/l
	0,06	mg/lr/h	0,48 mg/l
	0,03	mg/lr/h	0,80 mg/l
Mn(2)	0,24	mg/lr/h	1,01 mg/l
	0,18	mg/lr/h	1,05 mg/l
	0,12	mg/lr/h	1,10 mg/l
	0,06	mg/lr/h	1,27 mg/l
Fe(2)	0,24	mg/lr/h	1,10 mg/l
	0,12	mg/lr/h	1,10 mg/l
	0,06	mg/lr/h	1,50 mg/l

Informasi BV dan EC – 50 – 2 jam tersebut sekaligus memberi kejelasan adanya korelasi antara keduanya. Pengcilan BV memberi hasil pembesaran EC – 50 – 2 jam.

Dan adanya korelasi tersebut, maka memberi arti penting bagi desain (dengan debit rencana tertentu)

yaitu unit pengolahan mikrobia yang didahului dengan pengolahan fisik–kimiawi akan menghasilkan volume reaktor pada tingkat sekecil-kecilnya, pemantauan (dengan volume reaktor tertentu) yaitu bahwa dengan penempatan unit uji ekotoksitas di dengan unit pengolahan mikrobia maka kondisi BV atau EC – 50 – 2 jam dapat dipertahankan/dipelihara guna efektivitas pengolahan mikrobia.

#### 4. KESIMPULAN

Beberapa hal yang dapat disimpulkan sehubungan dengan riset uji ekotoksitas adalah EC – 50 – 2 jam dapat diperoleh untuk BV tertentu, karena ada BV yang justru mendukung aktivitas mikrobia dan hal ini bukan toksik. Korelasi EC – 50 – 2 jam dengan BV memberi petunjuk penting bagi kepentingan desain dan pemantauan unit pengolahan mikrobia. Disarankan untuk menindaklanjuti riset ini yaitu riset operasional sistem unit uji ekotoksitas dan unit pengolahan mikrobia. Konfigurasi yang disarankan adalah :

Influent → Unit uji ekotoksitas → Unit pengolahan mikrobia

#### DAFTAR PUSTAKA

- Dries, D. (1998), **Nitrate Removal From Drinking Water by Polyurethane Reactor.** *Water Supply.* Vol. 6. Hal. 181 – 192
- Mangkoedihardjo S. (1988). **Formation of Granular Anaerobic Sludge.** Vaksrage. Rijksuniv. Gent.
- Mangkoedihardjo S. (1990), **Denitrification of Drinking Water in a Polyurethane Reactor,** Thesis MSc State Univ. Of Ghent. Hal. 74
- Middlebrooks, E.J. (1988), **Design Equations for BOD Removal in Facultative Ponds.** *Water Science Technology.* Vol.19. (12). Hal.187 – 193
- Rand, G.M. dan Petrocelli, S.R. (1988), **Fundamental of Aquatic Toxicology: Methods and Applications,** Hemisphere Publishing Corporation.