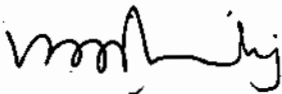


628.51
Zaman
e)

**REDUKSI Cr (VI) OLEH BACILLUS COAGULANS
YANG DIISOLASI DARI TANAH
YANG TERKONTAMINASI**

**Menyetujui,
Pembimbing**



Ir. Widiastuti HN., SU
NIP. 130 813 613



Penyusun,

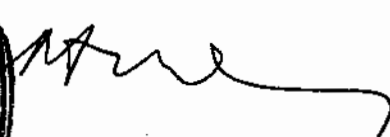


Badrus Zaman, ST, MT
NIP. 132 257 831

**Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro**



Ir. Nasrullah, MS
NIP. 130 891 848



UPT PERPUSTAKAAN UNDIP

REDUKSI Cr(VI) OLEH *BACILLUS COAGULANS* YANG DIISOLASI DARI TANAH YANG TERKONTAMINASI

I. Pendahuluan

Kekhawatiran manusia terhadap masalah lingkungan yang mengurangi kualitas dan kenyamanan hidup mulai tampak sejak pertengahan abad 20. Hal ini tampak dengan berkembangnya kalimat ekologi, erosi, intrusi, efek rumah kaca, kabut fotokimia, hujan asam, dan lain sebagainya. Perkembangan industri-industri telah membawa manusia ke paradigma baru terhadap lingkungannya dimana terjadi pencemaran air, udara, tanah yang tidak dapat dihindari, tetapi anehnya pada masa itu belum terlihat adanya tindakan-tindakan untuk melakukan pencegahan.

Pada masa sekarang ini yang sejalan dengan perkembangan pengetahuan dan perhatian manusia terhadap lingkungan hidupnya mendorong berkembangnya berbagai usaha untuk melindungi lingkungan hidup dan kerusakan yang diakibatkan oleh terjadinya pencemaran tersebut. Usaha tersebut selain dengan tindakan pencegahan adalah dengan usaha penurunan tingkat pencemaran yang telah terjadi.

Salah satu penyebab terjadinya pencemaran adalah buangan industri yang menghasilkan bahan yang dapat merusak lingkungan baik berupa gas, padat, maupun cair. Zat pencemar yang secara umum sangat berbahaya atau bersifat racun terutama bila masuk ke dalam tubuh manusia adalah berbagai logam berat. Salah satu logam berat yang menjadi perhatian saat ini selain Merkuri (Hg) adalah Kromium (Cr).

Kromium dilepaskan ke dalam lingkungan dalam jumlah yang besar oleh berbagai industri seperti industri kromplating, pengilangan minyak, penyamakan kulit, kayu lapis, pabrik tekstil, dan proses pulp. Keberadaan Kromium di lingkungan adalah berupa heksavalen Cr(VI) dan trivalen Cr(III). Kromium heksavalen Cr(VI) mempunyai sifat sangat toksik, mutagenik, karsinogenik bagi manusia dan hewan. kromium trivalen Cr(III) mempunyai sifat sedikit toksik, sedikit larut dalam air, dan lebih sedikit masalah yang ditimbulkan.

Aturan dan batas efluent Cr(VI) dan Cr(III) telah dilembagakan dan ditetapkan dalam peraturan pemerintah negara-negara industri terkemuka. Perhatian manajemen penanganan limbah yang sering dilakukan selama ini adalah dilakukan secara konvensional termasuk reduksi kimia yang dilakukan dengan alkali precipitation atau perubahan dengan pertukaran ion dan adsorpsi. Metode ini dianggap masih merugikan

karena proses alkali precipitation akan memproduksi sejumlah besar sludge kimia dan pertukaran ion dan adsorpsi umumnya mahal dan sedikit spesifik untuk perubahan Cr(VI) dengan keberadaan anion yang lain.

Penelitian teknologi yang baru dan inovatif saat ini adalah difokuskan pada biotransformasi metal oleh mikroba atau secara biologi sebagai usaha detoksifikasi yang menjadi alternatif yang atraktif untuk usaha remediasi polusi khususnya oleh Cr(VI).

Berdasarkan hasil berbagai penelitian yang dilakukan sejak sekitar tahun 1988 dilaporkan telah ditemukan berbagai mikroba yang mampu mereduksi Cr(VI) dibawah kondisi aerob dan anaerob. Laporan yang terbaru adalah jenis *Pseudomonas dechromaticus* yang merupakan organisme yang diisolasi dari air limbah dengan respirasi aerob. *Pseudomonas fluorescense*- LB 300 yang diisolasi dari sedimen yang terkontaminasi kromium mampu mereduksi Cr(VI) dan Cr(III) dibawah kondisi aerob dengan menggunakan sitrat sebagai donor elektron (De Leo and Ehrlich, 1994 dalam Ligy Philip, 1998). Penelitian yang dilakukan secara intensif adalah kemampuan reduksi kromat oleh *Enterobacter cloacae*-HO1 pada kondisi aerob.

Studi yang dilakukan pada makalah ini adalah suatu usaha untuk mengisolasi strain yang mampu mereduksi Cr(VI) dan tanah yang terkontaminasi untuk mengevaluasi potensi biotransformasi Cr(VI) menjadi Cr(III), untuk menggambarkan mekanismenya serta mendeterminasi kondisi optimum untuk memperoleh konversi yang maksimum.

II. Materi dan Metoda

2.1. Media

Secara umum media yang digunakan untuk pertumbuhan bakteri (M1) terdiri dari bacto tryptone (10 g), yeast ekstrak (5 g), Na_2HPO_4 (6,7 g), dan sumber karbon (1 g) dalam satu liter air destilasi. PH media adalah 7 dengan penepatan 7 ± 0.1 dengan 0.1 N HCl dan atau 0.1 NaOH. Sedangkan media untuk eksperimen reduksi Cr(VI) ml (M2) terdiri dari yeast ekstrak (5 g/l), sumber karbon (0,8 g/l), NH_4Cl (0.03 g/l), K_2HPO_4 (0.03 g/l), NaCl (0.01 g/l), dan $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (0.01 g/l). pH untuk media ini adalah 7 ± 0.1 .

Semua media tersebut dimasukkan ke dalam autoclave selama 15 menit dan disimpan pada temperatur ruangan. Sumber karbon yang digunakan adalah glukosa, sitrat, malat, suksinat.

2.2. Strain Bakteri dan kondisi Kultivasi

Strain bakteri yang diisolasi dari sampel tanah diambil dari daerah pembuangan limbah elektroplating. Sampel diambil dari tanah tersebut sekitar 2 gram dengan 100 ml MI dan diinkubasi selama 24 jam pada 30°C pada shaker 150 rpm. Setelah 24 jam dan menunjukkan pertumbuhan yang signifikan, satu loop penuh dipindahkan ke 100 ml ml dan ditambahkan 0.25 mM Cr(VI) dan disimpan dalam shaker selama 24 jam. Proses tersebut diulang dengan peningkatan konsentrasi Cr(VI) dengan tingkat konsentrasi 0.25 mM sampai 2 mM. Dari pertumbuhan yang signifikan dengan adanya Cr(VI) lalu dibuat 10 seri larutan (10^1 - 10^6) dan kemudian disetrik di atas agar plate dan diinkubasi pada 35°C selama 24 jam.

Hasil dari koloni yang berbeda morfologinya dilakukan pemilihan dan disetrik di atas agar miring, diinkubasi pada 35°C selama 24 jam, kemudian disimpan pada 4°C sampai diperlukan untuk eksperimen. Dari 10 isolat yang berbeda tersebut dengan standar mikrobiologi dan tes biokimia digunakan untuk identifikasi yang kemudian menjadi subyek reduksi Cr(VI). Dan 10 isolat tersebut dipilih satu strain yang menghasilkan reduksi Cr(VI) yang maksimum dan dilakukan identifikasi lengkap. Strain yang tenidentifikasi sebagai *Bacillus coagulans*.

Untuk eksperimen reduksi Cr(VI) tersebut selain mikroba hasil isolasi juga digunakan kultur murni *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus circulans* yang telah diketahui mempunyai kemampuan mereduksi Cr(VI) sebagai pembandingan.

Sel tersebut yang telah ditumbuhkan semalam pada nutrien broth steril pada 30°C kemudian di sentrifuse $76000 \times g$ selama 10 menit dan dicuci dalam garam fisiologi tiga kali sebelum digunakan untuk mempelajari reduksi Cr(VI).

2.3. Larutan Cr(VI)

Larutan Cr(VI) diperoleh dari satu molar stok larutan Cr(VI). Larutan Cr(VI) steril ditambahkan ke media sterl untuk memperoleh konsentrasi Cr(VI) yang diinginkan dengan larutan media yang minimal.

2.4. Screening Elektron Donor

Ada empat sumber karbon yang digunakan sebagai elektnon donor untuk reduksi Cr(VI) yaitu glukosa, sitrat, suksinat, dan malat. Hasil kultur yang ditumbuhkan semalaman dipindahkan ke 100 ml nutrien broth steril dalam labu ukuran 250 ml, kemudian ditambahkan Cr(VI) dan larutan stok $K_2Cr_2O_7$ steril sehingga konsentrasi akhir Cr(VI) adalah 104 mg/l.

Eksperimen reduksi Cr(VI) yang lain dilakukan dengan cara yang sama dengan variasi densitas sel, konsentrasi kromium yang berbeda dan sebagainya. Determinasi kuantitatif reduksi kromium dilakukan dengan analisis sampel pada interval waktu tertentu menggunakan spektrofotometer. Eksperimen tenebut diulang tiga kali dan dihitung nilai nata-rata. Untuk memastikannya digunakan statistik sebagai quality control.

Estrak sel bebas dipersiapkan dengan menggunakan modifikasi prosedur. Kultur semalaman yang dihasilkan disentrifuse, dicuci, dan diresuspensi dalam fosfat buffer (50 mM K_2HPO_4 dan 0.81 mM $MgSO_4/7H_2O$, pH 7), kemudian dihancurkan dengan ice water bath dengan pemeriksaan ultrasonic. 20 ml dari hasil tersebut kemudian disentrifuse pada 12000 x g selama 10 menit. Supernatan (S_{12}) dituangkan dan diuji untuk ketahanan hidup (*viable*) sel dengan ditanam di atas nutrien agar dan lebih dari 300 sel per ml yang dideteksi. 20 ml hancuran yang lain disentrifuse pada 1000 x g dan supernatan yang dihasilkan disentrifuse kembali pada 40.000 x g selama 20 menit pada 4⁰C, sedimen yang dihasilkan digunakan sebagai fraksi membran sel dan supernatan yang dihasilkan (S_{40}) digunakan sebagai fraksi pelarut.

Ekstrak sel bebas tersebut dituangkan ke dalam 100 ml labu steril yang berisi 20 mg/l Cr(VI) dan elektron donor yang berbeda-beda, Kemudian diinkubasi dengan digoncang pada suhu 30⁰C. Untuk eksperimen ekstrak sel bebas ini digunakan elektron donor malat, nicotinamide adenine dinucleotida (NADH) dan nicotinamide adenine dinucleotida neduksi (NADPH).

2.5. Metode Analisa

Sampel diambil dari botol reaksi dengan pipet steril dan disentrifuse pada 6000 x g selama 10 menit untuk mendapatkan sel. Untuk kromium heksavalen dideterminasi dengan colorimetric pada 540 nm dengan menggunakan reagen diphenylcarbazide dalam larutan asam. Sampel untuk analisa total kromium adalah dengan dicampurkan sulfur-nitrat dan dioksidasi dengan potassium permanganat sebelum direaksikan dengan diphenylcarbazide dan dideterminasi dengan colorimetri. Analisis dilakukan dengan acak dengan menggunakan Atomic Absorption Spectrofotometer. Densitas sel dideterminasi dengan absorban dan 1-Cm cuvet pada 440 nm. Berat kening sel dideterminasi sebagai total suspended solid.

III. Hasil dan Diskusi

Screening elektron donor untuk reduksi kromium dihubungkan dengan standar yaitu *Pseudomonas aeruginosa*. Karena media pertumbuhan mengandung bahan organik yang tinggi, maka dicoba digunakan media yang dimodifikasi (M2) untuk mempelajari reduksi Cr(VI) oleh bakteri. Gambar 1 menunjukkan kinetika reduksi Cr(VI) oleh *Pseudomonas aeruginosa* dengan sumber karbon tersebut. Reduksi kromium yang diteliti dengan 4 elektron donor dibawah kondisi aerobik ternyata menunjukkan reduksi yang bervariasi secara signifikan. Glukosa mempunyai efektifitas yang paling rendah sebagai elektron donor. Tingkat efektifitas dari keempat elektron donor tersebut adalah malat > sitrat > suksinat > glukosa. Meskipun pada 0.8 g/l malat ditemukan optimal, tetapi pada konsentrasi 0.4 g/l reduksi yang signifikan juga terjadi (tabel 1).

Berdasarkan tingkat efektifitas berbagai elektron donor tersebut mungkin berdasarkan satu kelompok reaksi sebagai bagian dari reaksi perjalanan elektron adalah siklus kreb. Glukosa dikatabolis menjadi piruvat dan masuk ke dalam siklus kreb dimana malat, sitrat dan suksinat berada diantara siklus kreb tersebut. Hal ini dapat menjadi alasan bahwa glukosa mempunyai efektifitas yang paling rendah dibandingkan ketiga elektron donor yang lain. Reduksi malat dan sitrat berperan penting dalam pembentukan formasi NADH dimana suksinat membentuk formasi yang menghasilkan FADH₂. Piridin nukleotida (seperti NADH) merupakan elektron donor dengan frekuensi terbesar untuk reaksi seluler. Hal ini mungkin menjadi alasan bahwa reduksi Cr(VI) yang lebih baik dengan keberadaan malat dan sitrat dibandingkan dengan suksinat.

Media pertumbuhan bakteri untuk reduksi Cr(VI) mengandung yeast ekstrak yang tinggi sehingga eksperimen dilakukan dengan determinasi dosis yeast ekstrak optimum yang dibutuhkan untuk reduksi Cr(VI) oleh *Pseudomonas aeruginosa* dan hasilnya seperti pada gambar 2. Dihasilkan bahwa untuk memperoleh reduksi yang tinggi diperlukan dengan range 5 g/l. Pada yeast ekstrak daging dan hati sapi juga digunakan, meskipun memberikan efek pada reduksi Cr(VI) tetapi yeast ekstrak ditemukan sebagai yang paling efektif.

3.1. Screening Mikroba dan Pereduksi Cr(VI)

Isolat mikroba dari lokasi buangan air limbah elektroplating yang discreen untuk reduksi Cr(VI) hasilnya seperti pada tabel 2. Potensial reduksi Cr(VI) dari isolat yang dibandingkan dengan kultur murni *Pseudomonas aeruginosa* yang telah diketahui sebagai bakteri yang mampu mereduksi Cr(VI) dan *Bacillus circulans* yang diisolasi dari

tanah yang masih bersih (*virgin soil*). Hal yang menarik adalah kemampuan strain bakteri *Bacillus coagulans* yang diisolasi dari bagian buangan limbah yang menghasilkan reduksi kromium spesifik yang lebih tinggi dibandingkan *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus circulans*. Setelah diketahui hal tersebut, maka eksperimen dilakukan dengan menggunakan *Bacillus coagulans*. Hal ini termasuk efek dari jenis dan konsentrasi elektron donor, konsentrasi Cr(VI) yang digunakan, densitas sel, dan kondisi fisiologi.

Kinetika reduksi Cr(VI) oleh *Bacillus coagulans* yang menggunakan sumber karbon yang berbeda hasilnya tampak pada gambar 3. Seperti pada *Pseudomonas aeruginosa* malah ditemukan sebagai sumber karbon yang paling efektif. Efek densitas sel pada reduksi Cr(VI) ditampilkan pada tabel 3. Tampak jelas bahwa kecepatannya dipengaruhi oleh densitas sel. Peningkatan densitas sel yang digunakan, hasil reduksi Cr(VI) juga meningkat sampai pada densitas sel 1.19 g/l kecepatan reduksi naik secara signifikan, tetapi kecepatan reduksi spesifik Cr(VI) relatif lebih tinggi dengan densitas sel yang lebih rendah. Pengukurannya adalah reduksi Cr(VI) per unit berat sel per waktu.

Untuk mendeterminasi efek status fisiologi sel pada reduksi kromium, sel *Bacillus coagulans* diuji penghambatan sistem respirasi dengan NaN_3 dan dinitrophenol (DNP), pengganda posporilasi oksidatif. Sel *Bacillus coagulans* dijadikan subjek perlakuan yang berbeda dengan memberikan efek pada ketahanan hidupnya (*viability*) sebelum dijadikan subjek untuk reduksi Cr(VI) dan hasilnya seperti pada gambar 4. Pada kontrol, reduksi tidak dapat terdeteksi (< 5%) dimana kerusakan sel dengan panas reduksinya mencapai 20%. Hal ini mungkin disebabkan kompleksisasi dari Cr(VI) dengan diubahnya biomassa bahan organik. Pengujian penghambatan reduksi sel dengan NaN_3 dan DNP ternyata efisiensinya sedikit menurun dibandingkan dengan sel yang tidak diberi perlakuan. Hal ini menunjukkan bahwa reduksi Cr(VI) tidak berhubungan dengan sistem respirasi.

3.2. Efek penggunaan konsentrasi kromium

Efek penggunaan konsentrasi Cr(VI) pada kecepatan reduksi Cr(VI) dilakukan dengan range 26-260 mg/l. Gambar 5 menunjukkan bahwa reduksi Cr(VI) oleh *Bacillus coagulans* tetap pada konsentrasi tertinggi. Kecepatan reduksi Cr(VI) menurun dengan waktu dan akhirnya berhenti pada konsentrasi Cr(VI) yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas reduksi Cr(VI) terbatas, yang mungkin disebabkan oleh toksisitas Cr(VI) terhadap sel.

3.3. Efek pH

Reduksi Cr(VI) oleh *Bacillus coagulans* yang dievaluasi dengan range pH 3-8 dan hasilnya tampak pada gambar 6. Reduksi maksimum Cr(VI) terjadi pada pH 7 dengan penurunan reduksi kromium pada sisi yang lain.

3.4. Efek elektron aseptor anorganik

Efek elektron akseptor seperti SO_4^{2-} dan NO_3^- pada potensial reduksi Cr(VI) untuk menerima elektron ternyata hasilnya tampak pada tabel 4. Keberadaan sulfat dan nitrat sampai 1000 mg/l tidak memberikan efek pada reduksi Cr(VI), hal ini menunjukkan bahwa Cr(VI) merupakan penerima elektron yang lebih baik dari SO_4^{2-} dan NO_3^- .

3.5. Syarat ketahanan hidup sel

Untuk memperoleh reduksi Cr(VI) diperlukan tempat karena adanya hasil akhir dari produk metabolis. Eksperimen reduksi menggunakan kontrol media, media dari kultur bakteri berumur 24 jam yang tumbuh tanpa Cr(VI) dan media yang diautoclave. Hasilnya menunjukkan tidak adanya reduksi cr(VI) yang signifikan pada semua media seperti pada tabel 5, Tetapi sel bebas pada media kultur mengandung produk metabolis dan produk ekstraseluler yang lain yang ditunjukkan dengan reduksi Cr(VI) yang sangat sedikit (sekitar 3%). Hal ini diduga bahwa reduksi berhubungan dengan ketahanan hidup bakteri.

3.6. Ekstrak sel bebas

Eksperimen yang dihubungkan dengan ekstrak sel bebas *Bacillus coagulans* untuk mengetahui komponen yang merupakan respon adanya reduksi Cr(VI). Reaksi biologi yang paling sering adalah transfer elektron dari substrat organik melalui NADH dan NADPH sehingga malat, NADH, NADPH digunakan sebagai elektron donor untuk eksperimen reduksi dengan menggunakan $\text{S}_{12}, \text{S}_{40}$, dan fraksi membran sel, dimana sel digunakan sebagai kontrol.

Pada gambar 7 (a)- (d), reduksi Cr(VI) oleh S_{12} dan S_{40} hampir sama dan peran fraksi membran diabaikan. Fraksi S_{12} dan S_{40} dengan mudah mereduksi Cr(VI). Hasilnya sama tanpa adanya eksternal elektron donor, tetapi reduksi sedikit lebih baik dengan adanya etektron donor. Dari ketiga elektron donor, NADPH merupakan elektron donor yang istimewa. Pada sel murni tidak ada reduksi Cr(VI) tanpa adanya elektron donor, dimana NADPH menghasilkan reduksi maksimum dibandingkan dengan yang lain. Berdasarkan hasil tersebut diduga bahwa enzim terlarut merupakan respon adanya

reduksi Cr(VI) oleh *Bacillus coagulans*. Selanjutnya hasil tersebut juga menunjukkan bahwa enzim Cr(VI) reduktase dapat digunakan sebagai elektron donor untuk reduksi Cr(VI).

IV. KESIMPULAN

Penelitian tentang reduksi Cr(VI) yang menggunakan isolat bakteri dari sampel tanah dari lokasi air limbah elektroplating, kapasitas reduksi isolat tersebut dibandingkan dengan standar *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus circulans*. Satu jenis isolat bakteri tersebut adalah *Bacillus coagulans* yang memberikan kapasitas reduksi yang maksimum dibandingkan dengan strain bakteri standar. Dari semua variasi elektron donor, malat ditemukan sebagai satu yang paling cocok. Kenaikan konsentrasi sel yang digunakan, kapasitas reduksi Cr(VI) juga naik tetapi reduksi spesifik maksimum Cr(VI) dihasilkan pada densitas sel yang lebih rendah. Reduksi yang tetap terjadi pada penggunaan konsentrasi Cr(VI) yang tinggi, tetapi reduksi 100% diperoleh pada konsentrasi yang sama sampai kurang dari 26 mg/l. pH optimum untuk reduksi Cr(VI) ditemukan pada pH 7 dan tidak ada efek pada kapasitas reduksi Cr(VI) oleh elektron aseptor anorganik seperti sulfat dan nitrat. Keberadaan penghambat respirasi DNP dan NaN_3 sedikit menurunkan kapasitas reduksi Cr(VI). Ekstrak sel bebas S_{12} dan S_{40} dengan mudah mereduksi Cr(VI) dengan hasil yang sama tanpa adanya eksternal elektron donor. Peran membran sel dalam reduksi Cr(VI) diabaikan.

Lampiran

Tabel 1. Efek konsentrasi malat terhadap reduksi Cr(VI) oleh *Pseudomonas aeruginosa*

Konsentrasi Malat (1)	Residu Cr(VI) setelah 72 jam (mg/l) (2)	Densitas sel akhir (mg/l) (3)
0	102.2	340.00
200	50.83	391.00
400	29.6	1140.00
800	22.2	1525.00
1600	20.00	1675.00
5000	ND	2140.00

- Konsentrasi sel awal = 340 mg/l, Konsentrasi Cr(VI) awal = 104 mg/l.
- ND = Non Deteksi

Tabel 2. Screening bakteri untuk reduksi Cr(VI)

Isolat bakteri (1)	Konsentrasi residu Cr(VI) Setelah 72 jam (mg/l) (2)	Reduksi spesifik Cr(VI) (miligram Cr(VI) yang direduksi per gram biomassa) (3)
<i>Bacillus coagulans</i>	8.30	78.46
BP7	13.92	73.84
BC10	19.45	69.30
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	20.48	68.50
BC4	23.45	66.03
BP5	25.52	64.33
<i>Bacillus circulans</i>	38.80	53.44
BC3	41.65	51.11
BP1	63.89	32.88

Tabel 3. Efek densitas sel *Bacillus coagulans* terhadap reduksi Cr(VI)

Densitas sel bakteri (g/l) (1)	Residu Cr(VI) setelah 72 jam (mg/l) (2)	Reduksi Cr(VI) dalam 72 jam (mg/l) (3)	Reduksi spesifik Cr(VI) (miligram Cr(VI) per gram biomassa) (4)
0.320	55.00	49.00	153.13
0.810	24.23	79.77	98.48
1.190	12.65	91.35	76.77
1.580	7.01	96.99	61.39
1.960	5.00	99.00	50.51

- Konsentrasi Cr(VI) awal = 104 mg/l.

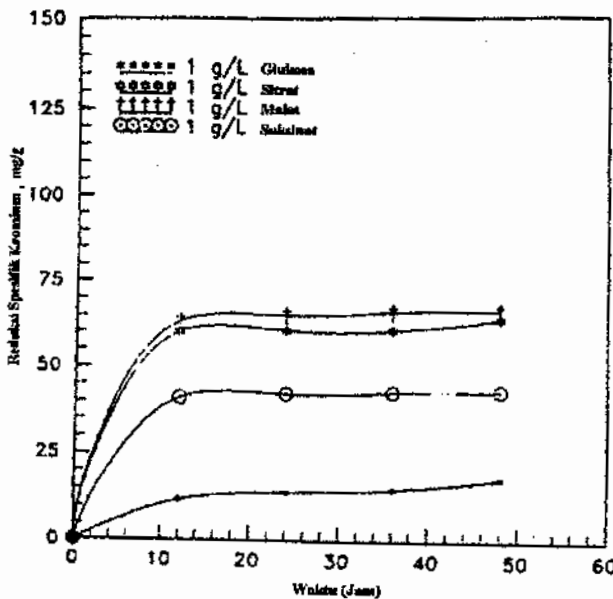
Tabel 4. Efek akseptor elektron anorganik terhadap reduksi Cr(VI) oleh *Bacillus coagulans*

Akseptor Elektron (1)	Konsentrasi residu Cr(VI) (72 jam) (mg/l) (2)
Kontrol	18.51
SO ₄ ⁻	19.7
NO ₃ ⁻	20.2

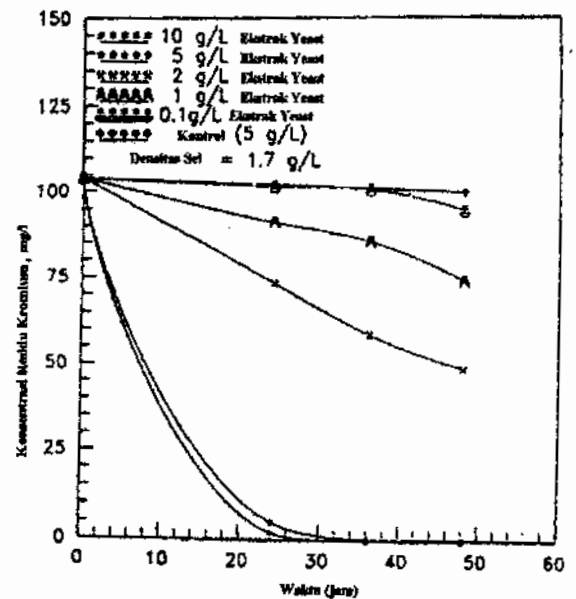
- Konsentrasi sel awal = 1.04 g/l; Konsentrasi awal Cr(VI) = 104 mg/l

Tabel 4. Efek Produk metabolik terhadap reduksi Cr(VI) oleh *Bacillus coagulans*

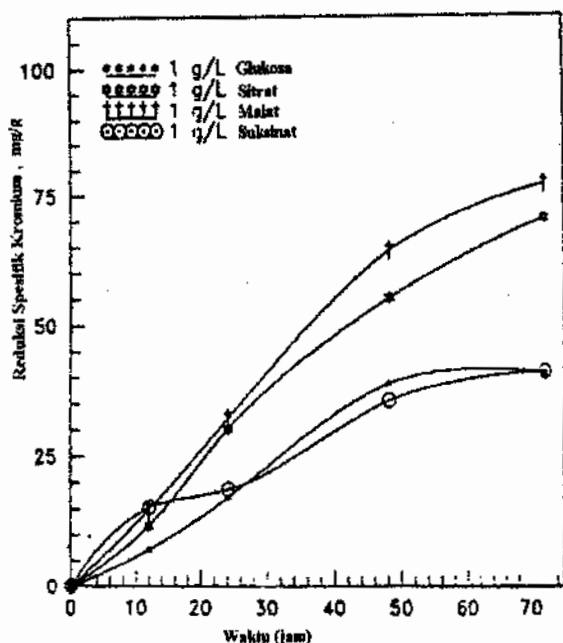
Akseptor Elektron (1)	Konsentrasi awal Cr(VI) (mg/l) (2)	Konsentrasi residu Cr(VI) Setelah 72 jam (mg/l) (3)
Kontrol media	120.00	120.00
Media diautoclave	120.00	114.70
Media di luar	120.00	111.98



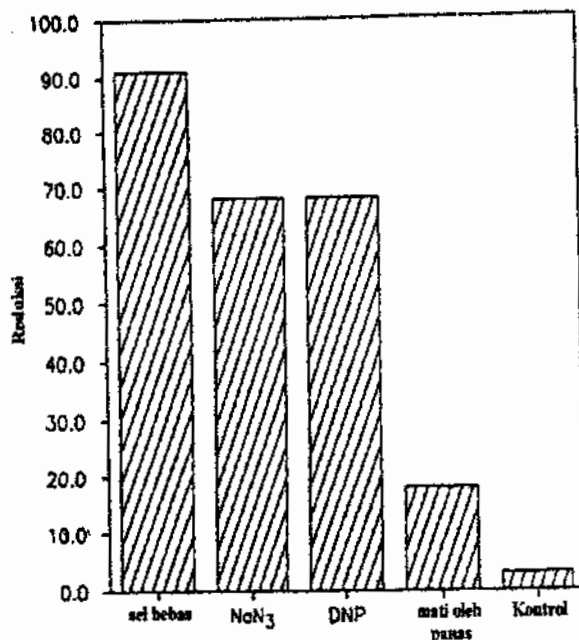
Gambar 1. Efek bahan organik yang berbeda Terhadap reduksi Cr(VI) oleh *Pseudomonas aeruginosa*



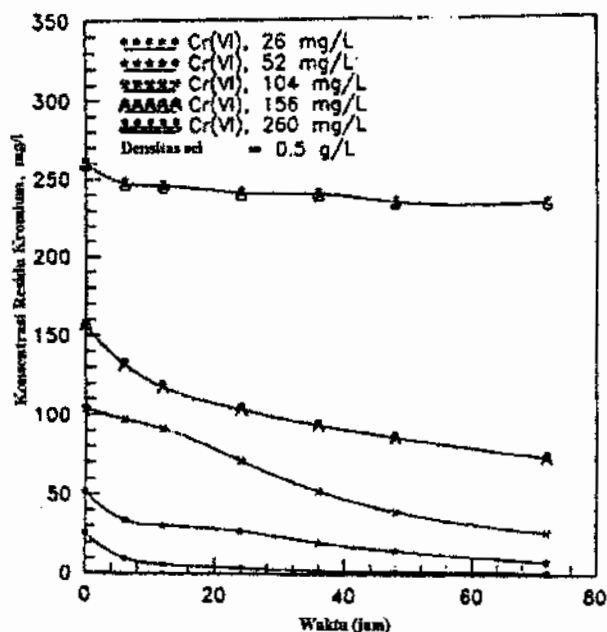
Gambar 2. Efek konsentrasi yeast ekstrak terhadap reduksi Cr(VI) oleh *Pseudomonas aeruginosa*



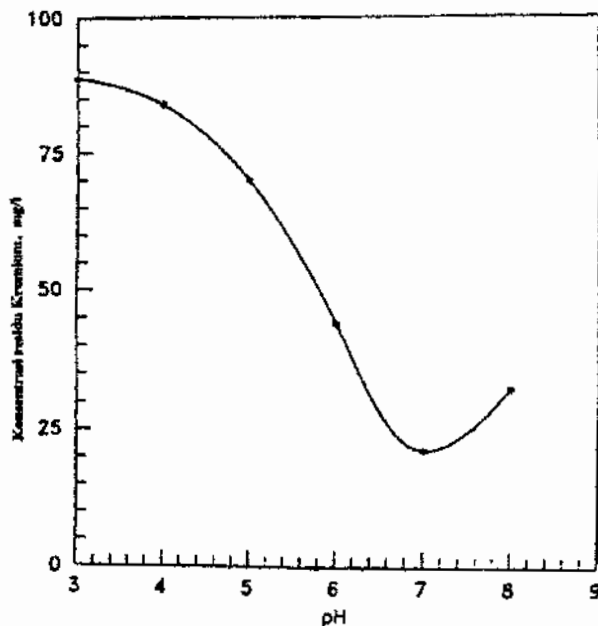
Gambar 3. Efek bahan organik yang berbeda Terhadap reduksi Cr(VI) oleh *Bacillus coagulans*



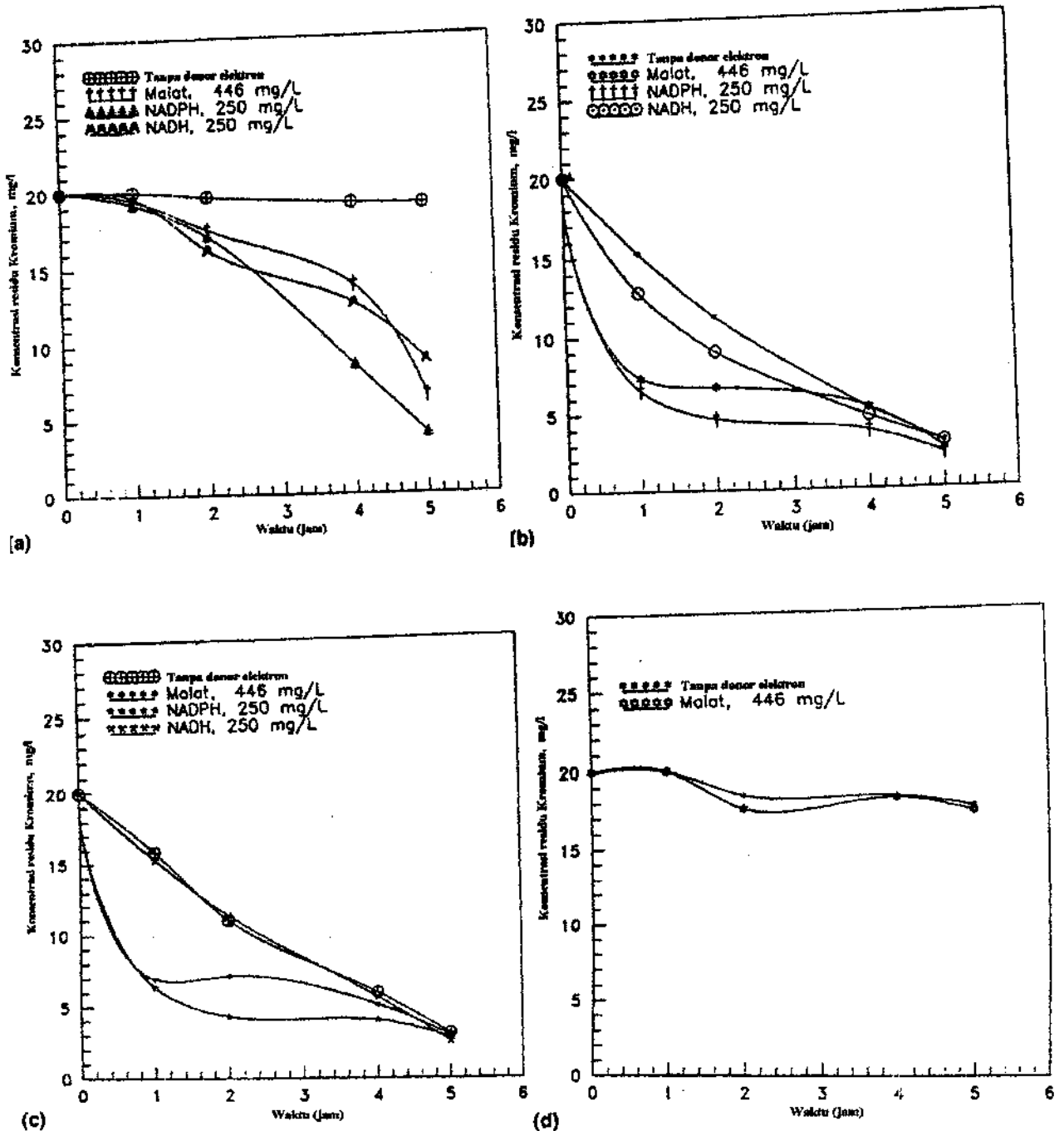
Gambar 4. Efek perlakuan yang berbeda pada *Bacillus coagulans* terhadap reduksi Cr(VI)



Gambar 5. Efek konsentrasi awal Cr(VI) yang Berbeda terhadap reduksi Cr(VI) oleh *Bacillus coagulans*



Gambar 6. Efek pH terhadap reduksi Cr(VI) oleh *Bacillus coagulans*



Gambar 7. Reduksi Cr(VI) oleh:

- Sel bebas *Bacillus coagulans* dengan adanya elektron donor yang berbeda
- Ekstrak sel bebas (S₁₂) dari *Bacillus coagulans* dengan adanya elektron donor yang berbeda
- Ekstrak sel bebas (S₄₀) dari *Bacillus coagulans* dengan adanya elektron donor yang berbeda
- Frakasi membran dari *Bacillus coagulans* dengan adanya elektron donor yang berbeda

DAFTAR PUSTAKA

- Fardiaz, Srikandi. 1992. "Polusi Air dan Udara" Penerbit Kanisius Yogyakarta.
- Kratochvil, David. 1992. "Removal of Trivalent and Hexavalent Chromium by Seaweed Biosorbent" dalam Article of Environment Science Technology Vol 32 no.18. 1998.
- Philip, Ligy. 1998. "Cr(VI) reduction By Bacillus Coagulans Isolated From Contaminated Soils dalam Journal of Environmental Engineering". American Society of Civil Engineers Environmental Engineering Division (ASCE). USA.