

**KINETIKA PERTUMBUHAN BAKTERI PADA BIOREMEDIASI
TANAH TERCEMAR LIMBAH TEKSTIL DENGAN TEKNIK
FORCED-AERATED STATIC PILE
(STUDI KASUS: LAHAN SAWAH RANCAEKEK)**

***BACTERIA GROWTH KINETIC ON BIOREMEDIATION OF SOIL
CONTAMINATED OF TEXTILE EFFLUENT BY FORCED-
AERATED STATIC PILE TECHNIQUE
(CASE STUDY: AGRICULTURAL FIELD RANCAEKEK)***

Dendy Primanandi¹ dan Agus Jatnika Effendi²

Program Magister Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganeca No. 10 Bandung 40132

E-mail: ¹dendyprimanandi@gmail.com, ²jatnika@indo.net.id

Abstrak : Perkembangan industri tekstil setiap tahunnya terus mengalami peningkatan. Dimana limbah warna yang dihasilkan pun tentunya juga akan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan sekitar. Studi kasus yang diambil pada penelitian bioremediasi tanah tercemar limbah tekstil ini dilakukan pertama kali dengan menggunakan sampel tanah yang berada di area persawahan di daerah Rancaekek dengan menerapkan teknologi *forced-aerated static pile*. Bakteri *indigenous* diperbanyak dan diinokulasikan pada media SBS yang sudah yang ditambahkan zat warna sebagai adaptasi dan perolehan parameter kinetika pertumbuhan bakteri. Parameter kinetika bakteri yang diperoleh yaitu nilai laju pertumbuhan spesifik (μ), laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{max}), konstanta setengah jenuh (K_s), koefisien sintesa sel (Y), laju pemanfaatan substrat spesifik (q), laju pemanfaatan substrat spesifik maksimum (q_{max}), dan koefisien kematian endogenous (K_d), berturut-turut adalah sebesar 0,01111-0,1326/jam; 0,1979/jam; 189 TCU mg/l; 0,0028; 39,7-47,4/jam; 70,69/jam; 0,0033/jam. Dari hasil pengukuran karakteristik awal yang dilakukan, struktur tanah tergolong lempung berlanau dengan porositas 83%. Konsentrasi warna awal yang terkandung adalah sebesar 1.846 TCU mg/l. Populasi bakteri heterotrof yang didapatkan saat awal sebanyak 210.10^4 CFU/g tanah dan autotrof sebanyak 217.10^3 CFU/g tanah. Variasi laju udara dan pH diujikan pada skala reaktor sederhana sistem *batch* menggunakan reaktor sederhana. Variasi laju udara yang diinjeksikan ke dalam pile tanah sebanyak empat perlakuan yaitu (0,6; 1,05; 1,35; dan 1,8) LPM, disertai dengan kontrol. Laju penurunan warna tertinggi yang dicapai selama 74 hari penelitian adalah pada laju udara 1,05 LPM, dengan efisiensi sebesar 49%. Laju udara optimum yang didapatkan pada hasil penelitian dilanjutkan sebagai acuan pada empat variasi pH yaitu 4-5; 6-7; 7-8; 8-9; disertai dengan kontrol. Penurunan warna tertinggi yang dicapai adalah pada variasi pH 7-8 dengan konsentrasi akhir yang dicapai adalah 783 TCU mg/l.

Kata kunci: bioremediasi, *biopile forced-aerated static pile*, zat warna, limbah tekstil

Abstract : *The development of the textile industry continues to increase every year. Where dy-containing wastewater will certainly also have a negative impact on the surrounding environment. Bioremediation soil contaminated with textile effluent this research was first conducted by using soil samples located in paddy fields in Rancaekek area. Forced-aerated static pile technology can improve the biodecolorization process of textile effluent. Indigenous bacteria are reproduced and inoculated on SBS media that have been added to the dye as an adaptation and acquisition of bacterial growth parameters. Parameters of bacterial kinetics obtained were the value of specific growth rate (μ), maximum septic growth rate (μ_{max}), half saturated constant (K_s), cell synthesis coefficient (Y), specific substrate utilization rate (q), maximum specific substrate utilization rate (q_{max}), and endogenous mortality coefficient (K_d), respectively 0,01111-0,1326/hour; 0,1979/hour; 189 TCU mg/l; 0,0028; 39,7-47,4/hour; 70,69/hour; 0,0033/hour. From the results of the measurement of the initial characteristics carried out, the soil structure is classified as dusty and slightly clayey clay. The initial color concentration contained was 1.846 TCU mg / l. The population of heterotrophic bacteria obtained at the beginning was $210 \cdot 10^4$ CFU / g of soil and autotrophs of $217 \cdot 10^3$ CFU/g of soil. Variations in air rate and pH were tested on a simple reactor batch system using a simple reactor. Variations in the rate of air injected into the soil pile were four treatments, namely (0,6; 1,05; 1,35; and 1,8) LPM, and control. The highest color decolorization rate that was able to be achieved during 74 days of research was at an air rate of 1,05 LPM, with a final color concentration reaching 941 TCU mg/l. The optimum air rate obtained in the results of the study was continued as a reference on four pH variations of 4-5; 6-7; 7-8; 8-9; and control. The highest decolorization achieved was the variation of pH 7-8 with the final concentration achieved was 783 TCU mg/l.*

Keywords: *bioremediation, biopile forced-aerated static pile, dye stuff, textile effluent*

PENDAHULUAN

Perkembangan industri tekstil baik skala kecil maupun besar semakin meningkat. Berbagai macam pencemar pada hasil buangan limbah tekstil khususnya zat warna dapat membahayakan baik lingkungan sekitarnya maupun kesehatan manusia. Kabupaten Bandung memiliki kurang lebih sekitar 800 pabrik industri tekstil yang beberapa prosesnya menghasilkan limbah organik atau limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) dalam bentuk limbah cair (Ayu, 2014). Industri tekstil yang banyak tersebar di kawasan Rancaekek, Jawa Barat meningkatkan potensi pencemaran limbah tekstil yang ditimbulkan khususnya limbah pewarna tekstil.

Teknik bioremediasi merupakan teknologi alternatif untuk meminimalisir dan memulihkan lahan terkontaminasi komponen berbahaya dengan memanfaatkan bantuan mikroorganisme. Oleh karena itu, pemanfaatan mikroorganisme dalam hal adalah bakteri pada teknik bioremediasi tanah menjadi sangat penting dan baik dari pertimbangan segi

biaya yang lebih murah. Di samping itu, pertimbangan lainnya adalah ramah lingkungan dan menghasilkan lumpur dalam jumlah yang lebih sedikit. (Yoo, 2000).

Bakteri-bakteri pendegradasi warna umum dijumpai di limbah yang mengandung pewarna. Pengolahan limbah yang mengandung pewarna secara biologi umumnya lebih sempurna jika dilakukan secara kultur campur atau konsorsium (Meitiniarti, 2011) serta menggunakan bakteri lokal (*indigenous*) karena dianggap lebih mampu bertahan pada polutan tersebut (Solis, 2012). Degradasi pewarna oleh kultur campur umumnya lebih baik dibanding kultur tunggal mengingat kemampuan tiap bakteri beragam dan macam pewarna yang digunakan juga beragam. Oleh karena itu penggunaan konsorsium mikroorganisme atau bakteri dalam proses degradasi limbah tekstil dapat meningkatkan optimalisasi degradasi zat warna. Walaupun pemanfaatan mikroorganisme dalam bioremediasi mampu mentransformasikan dan/atau mendegradasi senyawa xenobiotik, para peneliti tetap terus melakukan penelitian pada keragaman mikroorganisme khususnya pada lokasi yang terkontaminasi, sehingga diharapkan dapat menurunkan tingkat pencemaran spesifik yang cukup tinggi (Jain *et al*, 2005).

Teknologi *biopile* dengan teknik *forced-aerated static pile* dilakukan pada tanah yang terkontaminasi polutan dengan cara dibentuk menjadi sebuah tumpukan tanah dengan penerapan pemanfaatan aktifitas mikroba aerobik melalui sistem aerasi. Aerasi memiliki pengaruh yang sangat penting bagi mikroorganisme khususnya mikroorganisme aerob. Ketidaktersediaan atau kekurangan oksigen akan menyebabkan kematian mikroorganisme jenis ini dan kondisi akan cenderung berubah menjadi anaerobik. Akan tetapi, suplai udara yang berlebihan dapat pula mengganggu kinerja bakteri pada proses komposting karena kondisi lingkungan yang mendukung seperti suhu dan kadar air menjadi menurun cukup cepat.

Selain itu, biaya yang dibutuhkan menjadi semakin tinggi sebagai dampak penggunaan energi yang lebih besar dari sarana yang tersedia. Kemudian, faktor lingkungan pendukung seperti pH menjadi sangat esensial pada proses biodegradasi polutan. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan diujikan variasi laju aerasi pada proses biodegradasi secara komposting yang dilakukan agar dapat ditentukan secara komprehensif laju aerasi optimal pada bioremediasi tanah tercemar limbah tekstil. Di samping itu, akan diteliti pula pengaruh pH optimal tanah yang juga berperan sebagai salah satu dari faktor lingkungan pendukung sebagai langkah terpenuhinya syarat bioremediasi tanah.

METODOLOGI

Alat dan Bahan Penelitian

Reaktor sederhana yang digunakan berupa wadah plastik berukuran 37x25x16 cm dengan modifikasi penambahan aliran untuk menginjeksikan udara pada bagian dasarnya. Bahan-bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini berupa bahan-bahan kimia laboratorium, media pertumbuhan bakteri, dan juga sampel penelitian. Media minimum cair yang digunakan adalah *Salt Based Solution (SBS)*. Untuk komposisi SBS dalam setiap 100 liter akuades terdiri dari 0,054 g KH_2PO_4 ; 0,18 g K_2HPO_4 ; 0,054 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 0,024 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$; serta dengan tambahan 10 ml *trace element* dengan komposisi tiap 1 liter adalah 12 g $\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot \text{H}_2\text{O}$; 2 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1 g CaCl_2 ; 0,4 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 10 g NaSO_4 ; 0,4 g $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0,1 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; dan 0,5 g $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Sedangkan media yang digunakan untuk menghitung pertumbuhan bakteri adalah *Nutrient Agar (NA)* dengan komposisi tiap 100 ml akuades terdiri dari 2,5 g K_2HPO_4 sebagai buffer; 2,5 g glukosa, 5 g pepton; 3 g *beef extract*; dan 15 g agar.

Pelarut yang digunakan untuk mengeskraksi senyawa warna dari sampel tanah yang terkontaminasi limbah tekstil adalah pelarut semi polar *ethyl acetate* dari PT. Brataco, Bandung. Penggunaan zat warna direct yellow sebagai zat warna sintetis didapatkan dari toko PT. Tomasen, Bandung.

Sampling, Persiapan Tanah, dan Karakterisasi Awal Sampel Tanah

Sampling tanah dengan cara *grab sampling* adalah pada lokasi yang berada di lahan pertanian daerah Cipasir yang berbatasan langsung dengan aliran sungai. Pengeringan tanah dilakukan secara *air-dried*. Homogenisasi tanah dengan metode *cone and quartering* dilakukan untuk mendapatkan keseragaman kandungan polutan warna. Pengujian karakteristik awal tanah seperti pengujian fisik, kimia, dan biologi menjadi langkah penting sebelum melakukan tahapan *running* proses biodegradasi agar dapat memberikan data awal sebagai acuan dalam melakukan proses berikutnya serta analisis yang dilakukan.

Penentuan Kandungan Warna Limbah Tekstil pada Tanah

Penentuan kandungan warna ditentukan dengan mengacu pada standar dan penelitian sebelumnya, dimana untuk ekstraksi fase padat berdasarkan metode EN ISO 17234-1 dengan pelarut yang digunakan adalah pelarut semi polar *ethyl acetate*. Kemudian

ekstraksi dilakukan dengan meletakkan di atas shaker dengan kecepatan 120 rpm pada suhu 70°C selama satu jam. Supernatan hasil sentrifugasi diambil sehingga dapat ditentukan tingkat absorbansi warna menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang maksimum (λ maks) 298 nm. Blanko yang digunakan adalah *ethyl acetate*.

Isolasi Konsorsium Bakteri Pendegradasi Warna

Isolat bakteri yang akan digunakan untuk proses bioremediasi merupakan bakteri *indigenous* dari lokasi sampel lahan pertanian tercemar limbah tekstil. Isolasi bakteri pendekolorisasi dilakukan dengan cara koloni bakteri yang tumbuh pada cawan petri setelah inkubasi 24 jam dari pengenceran 10^{-2} dilarutkan dengan menambahkan *aquadest* steril ke dalam cawan petri, lalu diambil sebanyak 0,1 ml untuk diinokulasikan pada cawan petri baru berisi medium SBS yang telah dipadatkan (SBS agar) serta telah diolesi zat warna sintesis. Bakteri diinokulasikan dengan cara disebar (*spread plate*) menggunakan batang gelas L di atas permukaan agar, kemudian diinkubasi selama 24-72 jam pada suhu 37°C. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan kemungkinan bakteri yang lebih spesifik karena adanya tambahan zat warna sintesis pada medium minimum cair. Isolat bakteri yang telah tumbuh dengan perbedaan koloni paling dominan diambil menggunakan jarum *oose*, lalu dipindahkan ke dalam labu erlenmeyer berukuran 250 ml yang berisi *nutrien broth* sebanyak 100 ml dan diinkubasi menggunakan shaker selama 24 jam pada suhu ruang. Disiapkan pula isolat bakteri yang ditumbuhkan pada media agar miring sebagai stok cadangan.

Aktivasi dan Adaptasi Bakteri Pendegradasi Warna pada Media Minimum Cair

Aktivasi dan adaptasi bakteri dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu mula-mula bakteri dari tahap pengayaan yang berasal dari medium agar miring diinokulasikan pada media minimum cair SBS sebanyak 5 ml. Setelah inkubasi, inokulasi dilanjutkan pada SBS berikutnya sebanyak 5 ml dan kembali diinkubasi. Selanjutnya, pada labu erlenmeyer yang berisi 40 ml SBS, diinokulasikan isolat bakteri yang telah tumbuh yaitu 10% (v/v). Inkubasi yang dilakukan pada tahapan-tahapan aktivasi ini dilakukan dengan cara di *shaker* pada suhu ruang.

Pembuatan Kurva Pertumbuhan Bakteri dan Kinetika Biodegradasi

Penentuan kurva tumbuh didapatkan dengan cara pengukuran pertumbuhan berdasarkan interval waktu tertentu. Menurut Effendi (2006), dengan memasukkan kurva tumbuh pada kertas semilog, laju pertumbuhan spesifik (μ) dapat dihitung dengan cara korelasi *least-square*. Selama uji optimasi, konsorsium bakteri pada setiap media minimum cair SBS masing-masing ditambahkan konsentrasi zat warna sintesis (250, 300, 350, dan 400 TCU mg/l), kemudian diletakkan di atas *shaker* (suhu ruang) dengan interval waktu pengukuran pertumbuhan setiap 60 menit.

Penentuan kinetika biodegradasi dilakukan untuk mengetahui suatu kelayakan mikroorganisme dalam hal ini bakteri dalam kemampuannya untuk mengolah limbah warna. Parameter kinetika yang ditentukan adalah laju pertumbuhan spesifik (μ), laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{max}), konstanta setengah jenuh (K_S), koefisien sintesis sel (Y), laju pemanfaatan substrat spesifik (q), laju pemanfaatan substrat spesifik maksimum (q_{max}), dan koefisien kematian endogenous (K_d).

Konsep penentuan kinetika pertumbuhan mikroorganisme yang dibatasi substrat ini diusulkan oleh Monod. Adapun persamaannya diistilahkan dengan persamaan Monod. Dari persamaan Monod ini pula, terdapat beberapa pendekatan untuk melakukan *plotting* pada grafik yang dibuat yaitu *Lineweaver-Burk Plot*, *Eadie-Hofstee Plot*, dan *Langmuir Plot* (Doran, 1996). Adapun metode *plotting* dari ketiga pendekatan persamaan diatas adalah sebagai berikut:

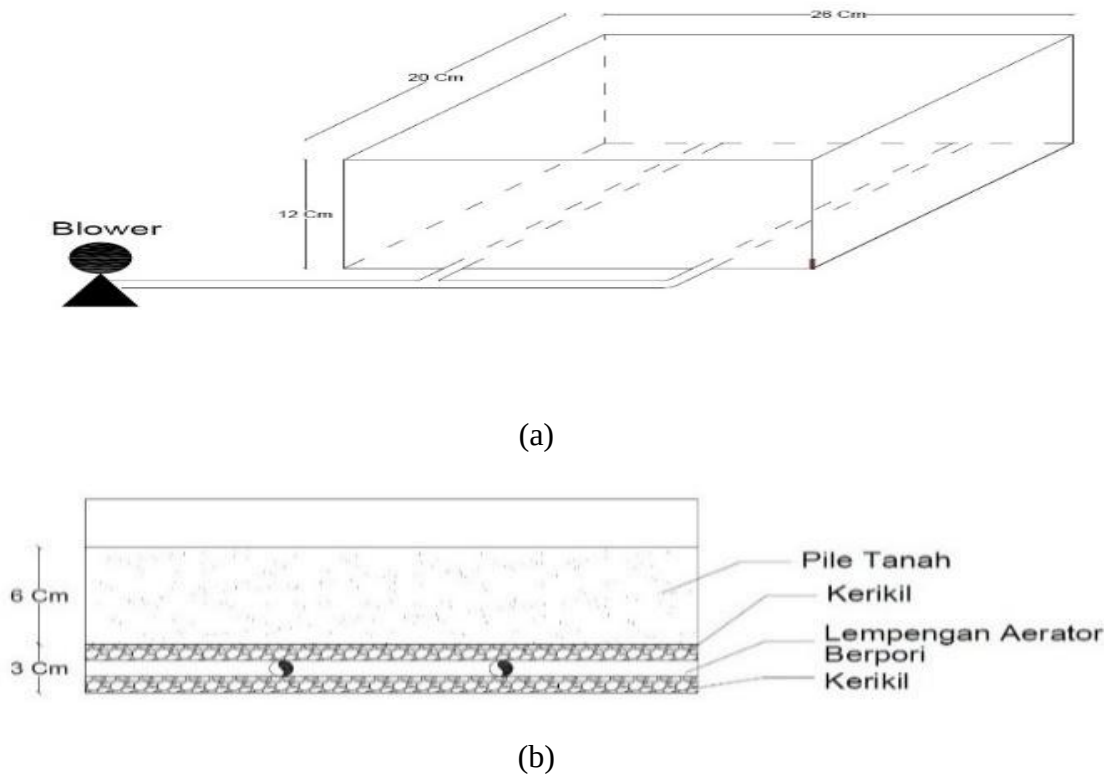
$$\text{Lineweaver Burk Plot:} \quad \frac{1}{\mu} = \mu_{max} \frac{K_S}{\mu_{max}} \frac{1}{S} + \frac{1}{\mu_{max}} \quad (1)$$

$$\text{Eadie Hofstee Plot:} \quad \frac{\mu}{S} = \frac{\mu_{max}}{K_S} - \frac{\mu}{K_S} \quad (2)$$

$$\text{Langmuir Plot:} \quad \frac{S}{\mu} = \frac{K_S}{\mu_{max}} - \frac{1}{\mu_{max}} \quad (3)$$

Running Proses Biodegradasi dalam sistem batch

Penentuan biodegradasi limbah warna dari tanah tercemar limbah pada penelitian ini dilakukan dalam skala mikro (laboratorium) dengan sistem *batch*. Biodegradasi dilakukan dengan menggunakan konsorsium bakteri yang berasal dari tanah lokal (bakteri *indigenous*) yang kemudian diaplikasikan sebanyak 1% dari total massa tanah pada suatu wadah plastik berukuran 37x25x16 cm. Desain dari reaktor sederhana ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Reaktor penelitian (a) dan *layer* bagian dalam reaktor (b)

Variasi Reaktor Uji Biodegradasi

Pada penelitian ini dilakukan dua macam variasi dalam melakukan proses uji biodegradasi yaitu variasi laju udara (*forced-aerated static pile*) dan variasi pH. Laju udara maksimum yang didapatkan dari penelitian akan dijadikan acuan dalam melakukan variasi pH optimum pada dekolonisasi limbah tekstil. Pengkodean reaktor dapat dilihat pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Pengkodean variasi reaktor uji biodegradasi

No	Variasi Laju udara	Kode Reaktor	Variasi pH	Kode Reaktor
1	0,6 LPM	FRL	4-5	LP
2	1,05 LPM	FRM	6-7	MP
3	1,35 LPM	FRH	7-8	HP
4	1,8 LPM	FRX	8-9	XP
5	Kontrol	CTR	Kontrol	KP

Perlakuan kontrol pada variasi laju udara dibuat tanpa menambah laju aerasi apapun dan prosesnya dilakukan dengan aerasi pasif yaitu tanpa injeksi udara tambahan. Sedangkan kontrol pada pH aktual tanah yaitu 5-6.

Pengkondisian variasi pH pada tiap-tiap reaktor dilakukan dengan penambahan dosis senyawa kimia yaitu untuk menurunkan pH tanah digunakan asam asetik CH_3COOH . Sedangkan untuk meningkatkan pH tanah digunakan natrium karbonat Na_2CO_3 .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Karakteristik Awal Sampel Tanah

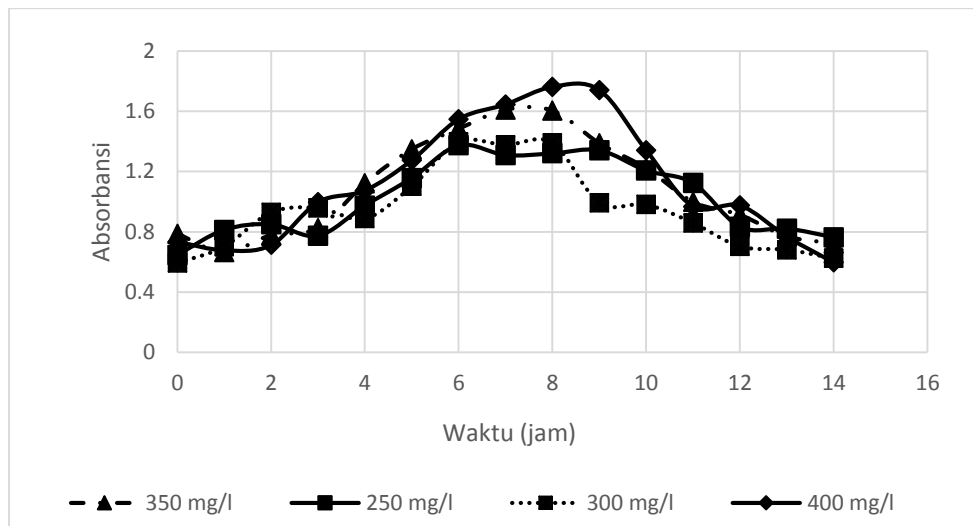
Uji karakteristik awal yang dilakukan pada sampel tanah dilakukan agar dapat memiliki gambaran atau pola dalam menentukan proses biodegradasi. Sampel tanah diuji karakteristik baik fisik, kimia maupun biologi.

Sampel tanah yang diambil dari lokasi lahan pertanian di area sekitar industri tekstil diujikan absorbansinya sebanyak tiga kali pengukuran (triplo). Penentuan kandungan limbah warna tekstil di tanah dilakukan pada tanah sampel yang tidak diketahui konsentrasinya. Kandungan zat warna yang terdapat di tanah ditentukan dengan cara mengekstraksi tanah menggunakan pelarut semi polar *ethyl acetate* dengan perbandingan 1:3. Didapatkan konsentrasi warna sebesar 1.846 mg/l.

Didapatkan total populasi bakteri yang hidup dalam perhitungan pada kisaran 30-300 berada pada faktor pengenceran 10^{-4} adalah sebanyak $210 \cdot 10^4$ CFU/g tanah., yang menandakan kondisi tanah sangat tercemar sehingga kondisi media tumbuh lingkungan sangat tidak menguntungkan bagi pertumbuhan bakteri. Sedangkan populasi bakteri autotrof adalah sebanyak $217 \cdot 10^3$ CFU/g tanah.

Kurva Pertumbuhan dan Kinetika Bakteri

Berdasarkan hasil pengamatan pola pertumbuhan konsorsium bakteri pada media SBS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dapat dilihat beberapa fase pertumbuhan yang terjadi.

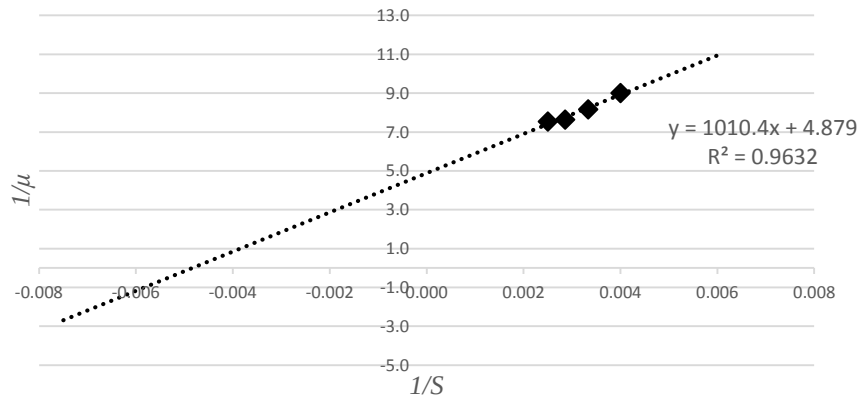


Gambar 2. Laju pertumbuhan konsorsium bakteri pada beberapa variasi konsentrasi warna dalam media SBS

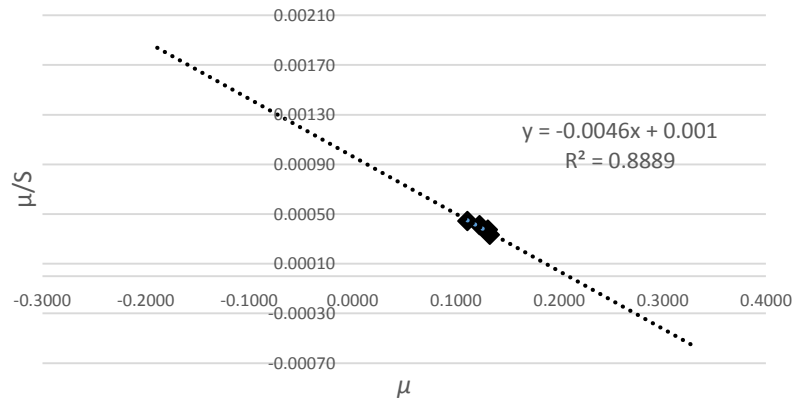
Dari perolehan masing-masing nilai μ pada **Tabel 2**, menunjukkan bahwa pertumbuhan terbaik dilihat dari laju pertumbuhan spesifiknya adalah pada konsentrasi warna 400 mg/l. Sempat terjadi fase lag atau adaptasi karena bakteri memerlukan waktu untuk melakukan perbaikan pada kerusakan sel nya setelah pemindahan pada media minimum baru SBS. Konsentrasi warna yang diberikan yang berperan sebagai substrat mampu untuk memenuhi kebutuhan bakteri dalam mendukung pertumbuhannya yang menandakan pula bahwa metabolisme sel bekerja lebih aktif dibandingkan konsentrasi warna lainnya. Nilai laju pertumbuhan spesifik (μ) masing-masing konsorsium bakteri pada keempat media SBS dapat dilihat pada Tabel 2. Dengan menggunakan kinetika persamaan Monod laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{max}) nilai K_s , dan parameter kinetika bakteri lainnya pada masing-masing variasi konsentrasi ditentukan nilainya seperti yang diunjukkan oleh Gambar 4 dan Tabel 3.

Tabel 2. Nilai laju pertumbuhan spesifik konsorsium bakteri

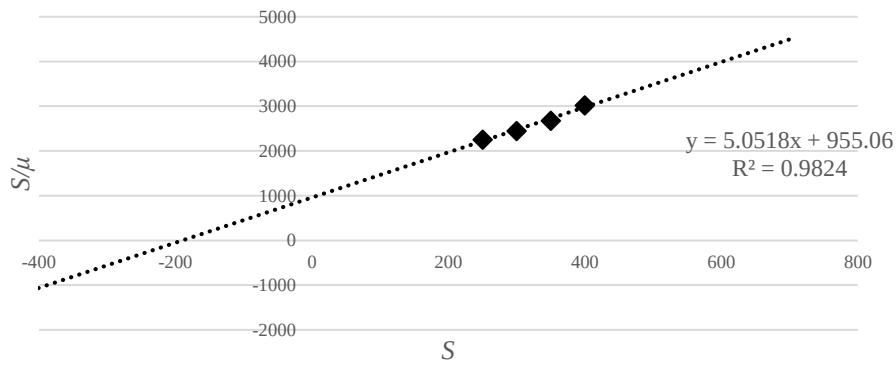
Konsentrasi warna (mg/l)	μ (-hari)
250	0,1111
300	0,1226
350	0,1309
400	0,1326



(a)

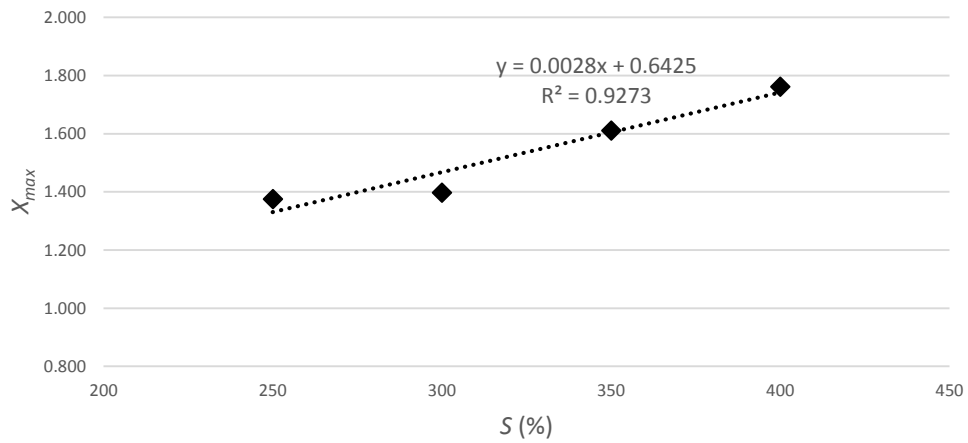


(b)

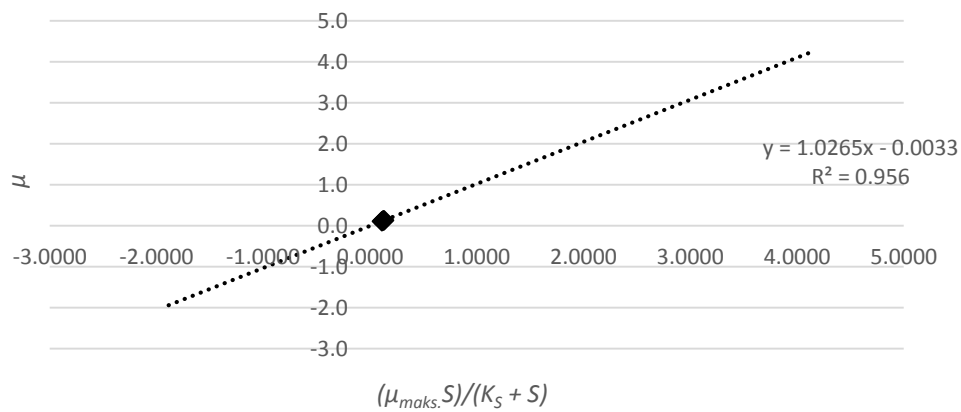


(c)

Gambar 3. Metode *plotting* pada persamaan kinetika Monod: (a) *Lineweaver-Burk* (b) *Eadie Hofstee* (c) *Langmuir* (d) dan (e)



(a)



(b)

Gambar 4. Penentuan nilai (a) Koefisien sintesa sel (Y) dan (b) Koefisien laju kematian spesifik (k_d)

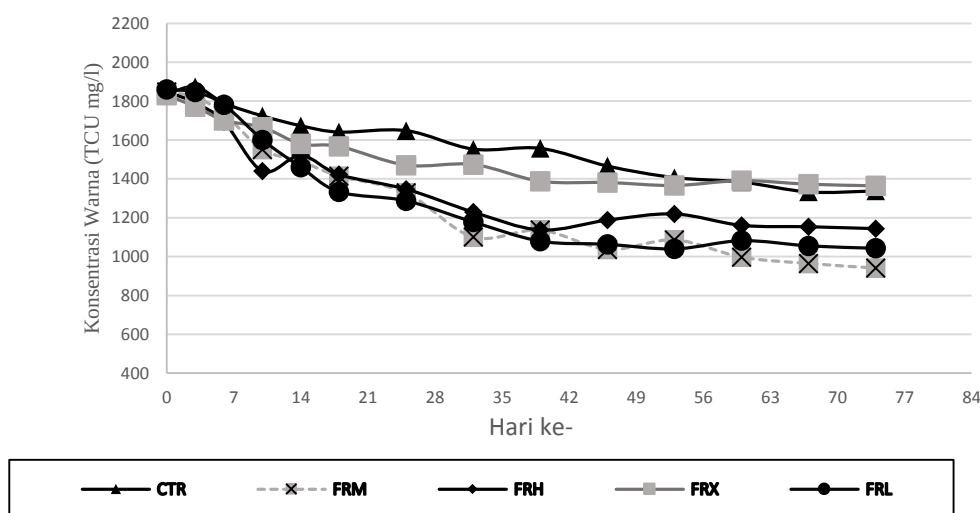
Tabel 3. Rekapitulasi parameter kinetika konsorsium bakteri *indigenus*

Parameter Kinetika	Nilai	Satuan
μ	0,1111-0,1326	(hari)
μ_{maks}	0,1979	(hari)
K_S	189	(TCU mg/l)
Y	0,0028	
q	39,7-47,4	(jam)
q_{maks}	70,696159	(jam)
K_d	0,0033	(jam)

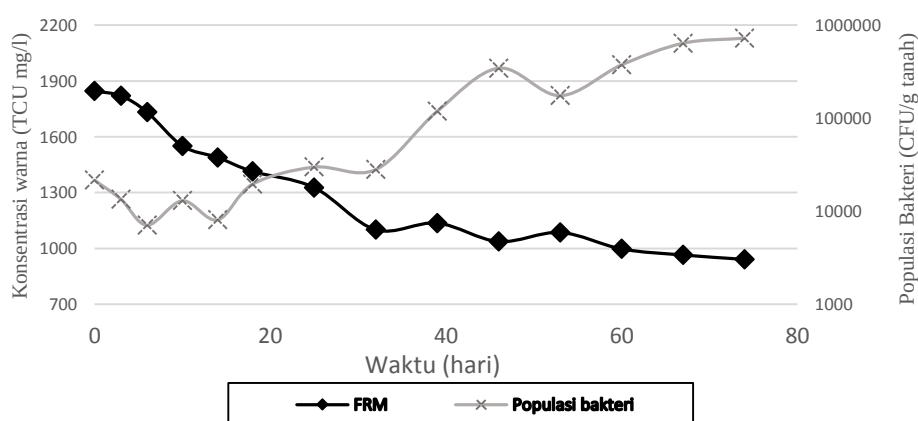
Running Proses Biodekolorisasi

Biodekolorisasi Limbah Tekstil dengan Variasi Laju Udara

Uji coba kemampuan bakteri *indigenous* pada proses biodegradasi skala laboratorium yang dilakukan dengan teknik *forced-aerated static pile* atau *biopile*. Dengan mengacu pada prinsip *biopile* yaitu dengan memberikan aerasi secara modifikasi injeksi udara, maka penentuan laju variasi udara pada penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan laju udara optimum. Pada Gambar 5 menunjukkan laju udara optimum yang didapat adalah sebesar 1,05 LPM dengan konsentrasi warna akhir mencapai 941 TCU mg/l dengan laju dekolorisasi sebesar 0,0094 TCU mg/l/hari dan populasi bakteri autotrof saat terakhir sebanyak $72,5 \cdot 10^6$ CFU/g tanah.



(a)



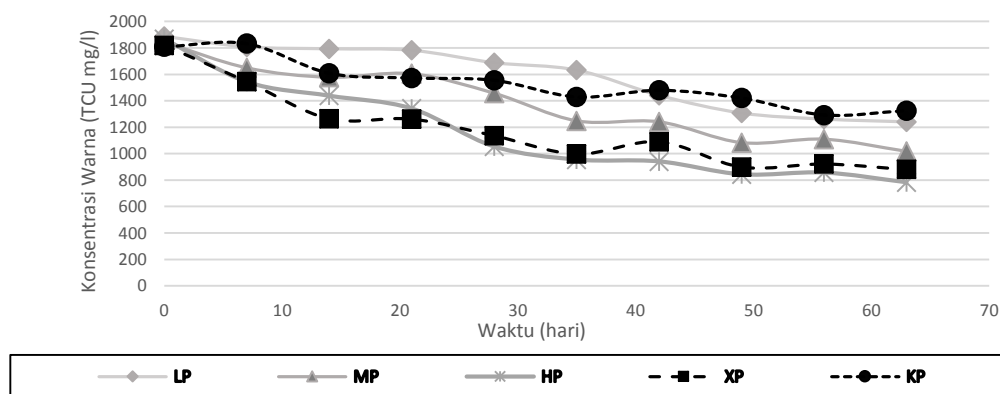
(b)

Gambar 5. Grafik (a) Dekolorisasi warna pada keempat reaktor terhadap waktu
(b) Dekolorisasi terbaik dan dinamika populasi bakteri pada variasi laju udara

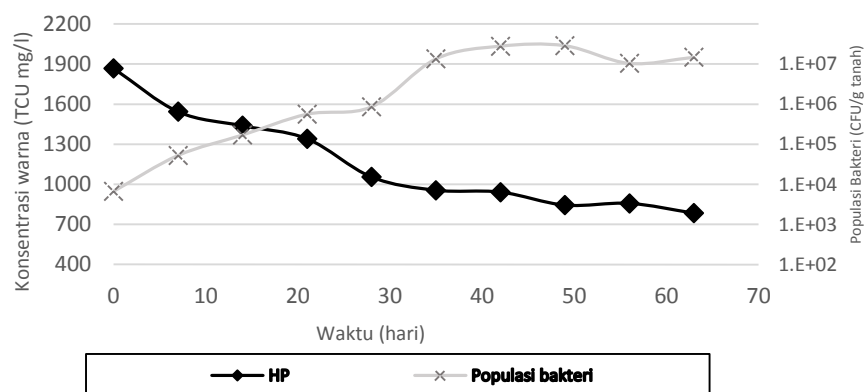
Kondisi aerobik diperlukan untuk mineralisasi molekul pewarna azo, yang dapat mendegradasi alur degradatif (*pathways*) pewarna azo tersulfonasi (Kulla dkk., 1983). Kompleksitas dari konsorsium bakteri memungkinkan mereka untuk mendekolorisasi polutan pewarna tekstil (Watanabe & Baker 2000).

Biodekolorisasi Limbah Tekstil dengan Variasi pH

Laju udara terbaik yang didapatkan pada percobaan sebelumnya diterapkan untuk menentukan variasi pH terbaik. Berdasarkan Gambar 5, selama 63 hari penelitian, dekolorisasi terbaik dicapai pada reaktor dengan variasi pH 7-8 dengan konsentrasi warna akhir 783 TCU mg/l dengan laju dekolorisasi sebesar 0,0137 TCU mg/l/hari dengan populasi bakteri autotrof 147.10^7 CFU/g tanah.



(a)



(b)

Gambar 6. Grafik (a) Dekolorisasi warna pada keempat reaktor terhadap waktu

(b) Dekolorisasi terbaik dan dinamika populasi bakteri pada variasi pH

Berdasarkan gambar 6, diketahui bahwa dekolorisasi terbaik dicapai pada reaktor dengan pH 7-8 pada variasi uji pH. Derajat pH terjadi sangat mempengaruhi kemampuan fungsi selular mikroorganisme, transportasi antar membran sel, dan kesetimbangan reaksi katalis enzim (Cutright, 2001).

KESIMPULAN

Hasil uji karakteristik awal sampel tanah yang terkontaminasi limbah tekstil di kawasan Rancaekek menyatakan bahwa struktur tanah tergolong jenis lempung berdebu dan sedikit liat. Populasi bakteri heterotrof dan autotrof pada tanah menyatakan bahwa tanah positif tercemar yang mengandung limbah warna. Bioremediasi yang dilakukan dengan teknik *forced-aerated static pile* yang dilakukan dengan variasi laju udara optimum, dimana dengan didaparkannya laju udara optimum akan dijadikan sebagai acuan dasar untuk variasi berikutnya yaitu pH dalam menurunkan kandungan limbah spesifik seperti zat warna yang terkandung pada tanah terkontaminasi limbah tekstil.

Dilihat pada kinetiknya, maka dengan adanya aerasi yang tercukupi untuk proses dekolorisasi maka kemampuan konsorsium bakteri *indigenous* yang digunakan dalam mendekolorisasi limbah warna ternyata memiliki potensi yang cukup baik. Begitu pula dengan faktor lingkungan pendukung lainnya seperti pH yang menjadi esensial bagi kondisi tumbuh bakteri. Di samping itu, kemampuan bakteri *indigenous* berpotensi untuk memanfaatkan substrat yang tersedia dari limbah yang akan diolah.

DAFTAR PUSTAKA

- Cutright, TJ. 2001. *Biotechnology Principles and Advances in Waste Control. Departement of Civil Engineering*. University of Akron.
- Doran, PM. 1997. *Bioprocess Engineering Principles*. London: ACADEMIC PRESS LIMITED.
- Effendi, A.J., 2006. *Treatabilty Test of Oil- Contaminated Soil Using Bio-Augmented Bacteria*. Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan Binaan, 2(2):41-47.
- Jain, R.K., Kapur, M., Labana, S., Lal, B., Sarma, P.M., Bhattacharya, D., Thakur, I.S., 2005. *Microbial diversity: application of microorganisms for the biodegradation of xenobiotics*. Current Science 89, 101-112.
- Melgoza, RM, Cruz, A dan Bultron, G. 2004. *Anaerobic-Aerobic Treatment of Colorants Present in Textile Effluents*. Water Sci. Technol. 50, 149-155.

- Okpokwasili G. C, Nweke C. O. 2005. Microbial Growth and Substrate Utilization Kinetics. *African Jurnal of Biotechnology*, Vol. 5 (4), 305-317.
- Tiara, A. 2014. Uji Toksisitas Akut Pada Ipal Terpadu Kawasan Industri Tekstil Terhadap *Daphnia Magna* di Dayeuhkolot. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 20(2), 109-119.
- Watanabe K & Baker PW. (2000). *Environmentally relevant microorganisms*. J. Biosci. Bioeng. 89: 1–11.
- Yoo ES 2000. *Biological and Chemical Mechanisms of Reductive Decolorization of Azo Dyes*. [Dissertation]. Genehmigte Berlin.

