

## Artikel Review : Metode Biodegradasi Untuk Berbagai Limbah Pewarna Sintesis Golongan Azo

Lily Arlianti

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Islam Syekh Yusuf, Jl. Mulana Yusuf No.10 Tangerang Banten  
15118, Indonesia

[larlianti@unis.ac.id](mailto:larlianti@unis.ac.id)

**Abstrak.** Pewarna Azo untuk zat warna sintesis menjadi digunakan dalam industri tekstil, kulit, farmasi dan kosmetik, menimbulkan ancaman bagi semua bentuk kehidupan. Metode fisiko-kimia dari pengolahan limbah cair industri tidak menghilangkan pewarna secara efektif. Degradasi dan dekolorisasi menggunakan Mikroba terhadap pewarna Azo telah mendapat perhatian lebih baru-baru ini karena sifatnya ramah lingkungan dan murah. Mikroba bisa menghilangkan warna pewarna oleh metabolisme aerobik dan anaerobik. Berbagai mikroba sudah diteliti untuk biodegradasi ini seperti penggunaan bakteri-bakteri, berbagai jamur dan enzim-enzim seperti laccase, reduktase dan peroksidase. Hasil biodegradasi pada pewarna azo ini telah memberikan hasil yang sangat menjanjikan, selain untuk dekolorisasi namun juga untuk detoksifikasi limbah. Uji toksik juga sangat penting untuk memastikan limbah yang akan dibuang ke lingkungan sudah tidak berbahaya. Kita bertanggungjawab untuk kelayakan dan kelestarian lingkungan air di tengah kemajuan industri dan teknologi. Kualitas dan estetika lingkungan air yang baik serta kesehatan semua bentuk kehidupan di sekitarnya menjadi hal yang paling penting.

**Kata kunci:** biodegradasi, pewarna sintesis, golongan azo

**Abstract.** [Biodegradation Method for Various Azo Group Synthesis Dye Waste].

Azo dyes for synthetic dyes have become used in the textile, leather, pharmaceutical and cosmetics industries, posing threats to all forms of life. Physico-chemical method of industrial wastewater treatment does not eliminate dyes effectively. Microbial degradation and decolorization using Azo dyes has received more attention recently because it is environmentally friendly and inexpensive. Microbes can eliminate color dyes by aerobic and anaerobic metabolism. Various microbes have been studied for this biodegradation such as the use of bacteria, various fungi and enzymes such as laccase, reductase and peroxidase. Biodegradation results in this azo dye have given very promising results, in addition to decolorization but also for detoxification of waste. Toxic tests are also very important to ensure that the waste that will be discharged into the environment is not dangerous. We are responsible for the viability and preservation of the aquatic environment in the midst of industry and technological progress. The quality and aesthetics of the good water environment and the health of all life forms around it are of the most importance.

**Keywords:** biodegradation, synthetic dyes, azo group

### I. Pendahuluan

Limbah pewarna menjadi salah satu masalah lingkungan serius yang dihadapi oleh dunia saat ini. Limbah pewarna buangan dari industri maupun domestik memberikan dampak buruk pada kesehatan, estetika maupun kenyamanan lingkungan disekitar wilayah yang tercemar. Metode penanggulangan limbah pewarna ini sudah cukup banyak dikembangkan, di dunia industri berbagai metode fisika dan kimia sudah dilakukan. Riset-riset beberapa tahun belakangan memunculkan berbagai metode seperti, fotolisis, elektrokimia, biodegradasi dan metode-metode lainnya yang menjanjikan untuk

dikembangkan.

Berbagai industri menggunakan pewarna sintesis ini secara luas seperti pada industri farmasi, tekstil, percetakan, penyamakan, mainan, makanan dan fotografi. Pewarna sintesis yang digunakan ini dari berbagai golongan seperti azo, antraquinon, pewarna polymeric, heterosiklik, tripylmetana, indigo dan pewarna reaktif (Atria Martina, dkk., 2015)

Zat warna golongan azo merupakan golongan terbesar yang digunakan diberbagai industri saat ini. Golongan azo mempunyai karakteristik rantai azo (-N=N-) dan dialam satu senyawa zat warna terdapat satu atau lebih rantai ini. Namun pada prakteknya

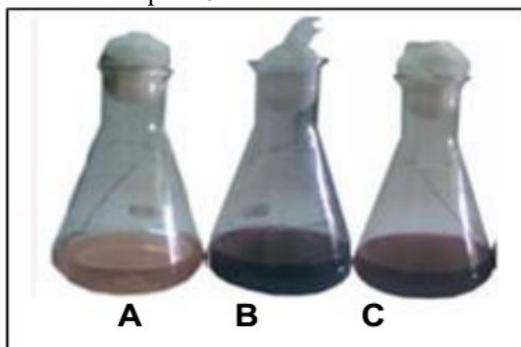
tidak semua zat warna terikat sempurna dengan kain tergantung kelas zat warna, sebagian terbuang dalam air bunga bervariasi 2% untuk zat warna basa dan hampir 50% untuk zat warna reaktif (P.S. Komala, dkk.,2018).

Menurut Harshad Lade, dkk.,(2015) tingkat fiksasi beberapa pewarna tekstil tidak 100% dan sekitar 30-70% dari jumlah zat warna digunakan untuk hilang menjadi limbah selama operasi pengolahan basah. Perkiraan pewarna konsentrasi dalam limbah tekstil telah dilaporkan berada dalam kisaran 10-200 mg L<sup>-1</sup>. Kandungan warna yang tinggi dari air limbah pewarna terlihat lingkungan air dan menghambat fotosintesis tanaman air dan ganggang karena penyerapan sinar matahari yang terbatas, dan sebagai hasilnya dekolonisasi pewarna telah menjadi tujuan utama dari proses pengolahan air limbah pewarna. Namun, di luar warna, kehadiran limbah pewarna-pewarna ini dalam ekosistem berair menghadirkan masalah lingkungan dan kesehatan yang serius sebagai akibat dari keracunan dari pewarna bebas sendiri dan transformasi mereka menjadi amina toksik, mutagenik, dan karsinogenik, terutama sebagai akibat pembelahan reduktif mikroba anaerobic ikatan azo (E.Franciscon, dkk.,2012).

Salah satu metode yang menarik untuk dikembangkan lebih luas dalam mengatasi limbah zat pewarna sintesis ini adalah dengan cara biodegradasi. Metode biodegradasi dapat dilakukan menggunakan enzim, bakteri dan jamur.

## II. Metode dan Pembahasan Biodegradasi dengan Jamur.

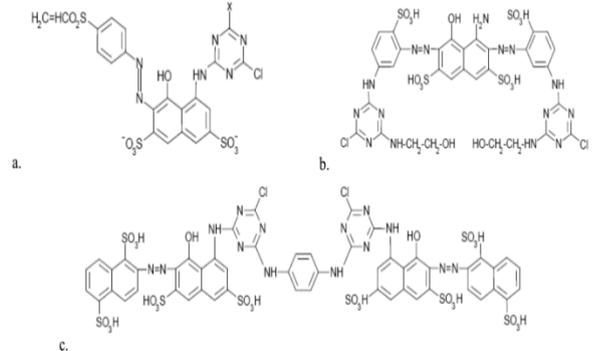
Atria Martina, dkk.,(2015) telah melakukan biodegradasi terhadap pewarna azo *Mordan Black 17* menggunakan spora *Ganoderma sp.* yang diinokulasikan pada 3 medium yang berbeda yakni medium N-limited, medium Basal dan medium Minimal. Kondisi optimal dekolonisasi zat warna MB17 paling rendah ditemukan pada medium Basal dengan jumlah inokulum 104 spora/ml dalam waktu 12 hari. Berikut hasil dekolonisasi pewarna MB17 secara visual pada 3 medium.



**Gambar 1.** Visual dekolonisasi MB17 oleh *Ganoderma sp.* pada medium Basal (A), N-Limited (B) dan Minimal (C) (A.Martina, dkk, 2015)

Peneliti C. Nascimento, dkk.,(2011)

melakukan degradasi dan detoksifikasi terhadap 2 pewarna tekstil azo yakni Reactive Red 198, Reactive Red 141 dan Reactive Blue 214 menggunakan campuran jamur di wilayah timur laut Brazil. Campuran jamur diambil dari sedimen pada 20 waduk alami yang ada disekitar lingkungan Serra de Capivara National Park, Brazil.



**Gambar 2.** Struktur senyawa pewarna R.Red 198 (a), R.Blue 214 (b) dan R.Red 141 (c). ( Nascimento dkk, 2011)

Analisis untuk penentuan dekolonisasi 3 pewarna ini menggunakan spektrofotometer UN/Vis. Hasil dekolonisasi menunjukkan terhadap R.Red 198 terdegradasi 100% menggunakan campuran jamur *Caldeirão da Barriguda I (CBI)*, *Caldeirão da Barriguda II (CBII)*, *Caldeirão do Desfiladeiro (CD)*, *Caldeirão da Geladeira (CG)* and *Caldeirão Manuel Zuza (CMZ)* setelah inkubasi selama 7 hari.

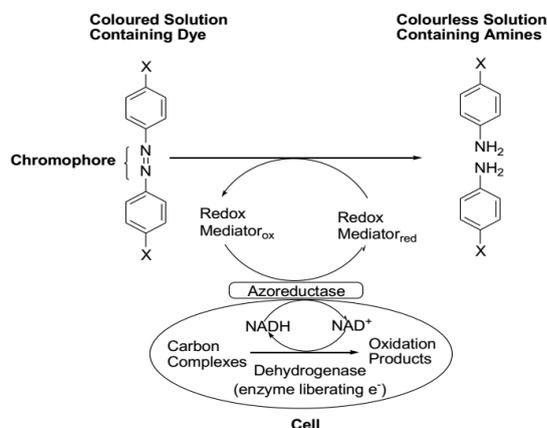
Tes ekotoksikologi harus dilakukan selama proses biodegradasi untuk memastikan bahwa produk dari degradasi kurang beracun daripada polutan asli. Dikarenakan dekolonisasi tidak selalu indikasi keberhasilan detoksifikasi, suatu uji toksisitas dengan pewarna sebelum dan sesudah dekolonisasi dilakukan pada saat penelitian. Kriteria yang digunakan untuk uji toksisitas akut dengan *Daphnia pulex* adalah faktor toksisitas selama 24 jam. Hasil uji ekotoksikologi untuk R.Red 198 hilang 100% ketoksikannya dengan medium *Caldeirão da Escuridão (CE)*.

## Biodegradasi dengan Enzim.

Degradasi pewarna azo menggunakan enzim *Trametes Villosa* Laccase telah dilakukan oleh A. Zille, dkk.,(2005). Pewarna yang digunakan adalah 3-(4-dimethylamino-1-phenylazo) benzenesulfonic acid dan 3-(2-hydroxy-1-naphthylazo) benzenesulfonic acid. Degradasi diamati setelah 72 jam masa inkubasi kemudian dianalisis menggunakan LC-MS. Hasil analisis menunjukkan pembentukan senyawa fenolik selama proses oksidasi pewarna serta sejumlah besar produk polimerisasi yang mempertahankan integritas kelompok azo. Reaksi amino-fenol juga dianalisis oleh <sup>13</sup>C-NMR dan analisis LC-MS, dan karakter polimerisasi laccase terlihat. Hal ini menyoroti fakta bahwa laccases mempolimerisasi produk reaksi yang diperoleh selama proses dekolonisasi jangka panjang

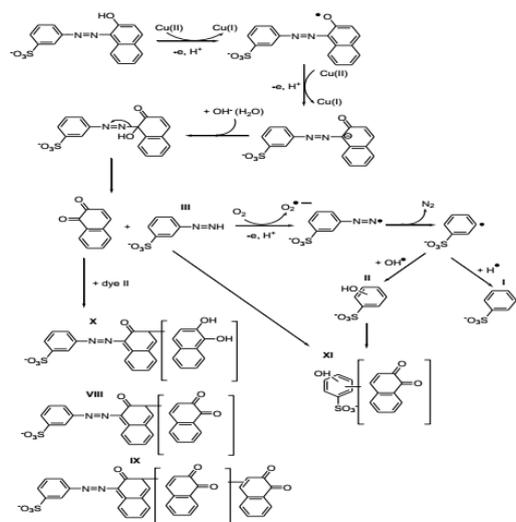
dengan pewarna azo. Produk-produk yang dipolimerisasi ini memberikan tingkat warna yang tidak dapat diterima dalam limbah, sehingga membatasi penerapan laccase sebagai agen bioremediasi. Laccase memodifikasi struktur pewarna azo dengan menghancurkan struktur kromoforiknya. Ini diamati secara visual dalam larutan pewarna azo sebagai terjadinya perubahan warna. Namun, selama periode oksidasi yang lama, produk yang diperoleh selama reaksi degradasi dapat mengalami lebih reaksi lanjut. Reaksi lanjut ini justru mengakibatkan larutan menjadi lebih gelap.

Menurut Chacko & Subramaniam (2011), mereka meyoroti degradasi menggunakan enzim Laccase dan Reduktase. Proporsal mekanisme degradasi pewarna azo menggunakan enzim reduktase diperlihatkan oleh **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Proporsal mekanisme reduksi senyawa azo oleh azo reduktase. (Chacko & Subramaniam, 2011)

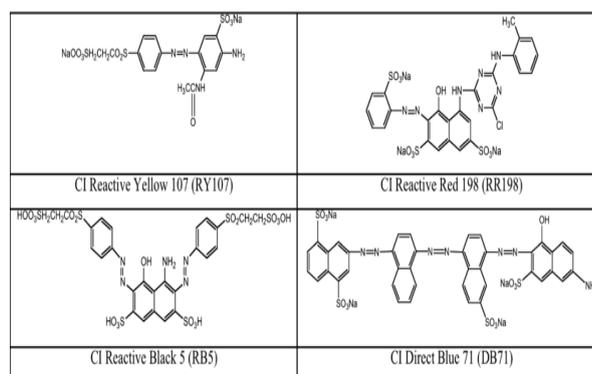
Proporsal mekanisme degradasi senyawa menggunakan enzim laccase diperlihatkan oleh **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Proporsal mekanisme degradasi pewarna azo 3-(2-hydroxy-1-naphthylazo) benzenesulfonic Acid dengan enzim laccase (Chacko & Subramaniam, 2011).

Selain dengan laccase dan reduktasi degradasi juga dapat dilakukan dengan enzim peroksidase, dimana enzim akan mengkatalis reaksi dengan keberadaan hidrogen peroksida (Chacko & Subramaniam, 2011).

E. Franciscon dkk (2012) telah melakukan penelitian degradasi enzimatik menggunakan isolate *Brevibacterium sp.* Strain VN-15 yang diambil dari lumpur aktif dari sebuah pabrik tekstil, enzim yang bekerja disini adalah Tyrosinase. Adapun pewarna yang diteliti adalah *Reactive Yellow 107* (RY107), *Reactive Black 5* (RB5), *Reactive Red 198* (RR198) dan *Direct Blue 71* (DB71). Aktivitas tyrosinase diamati selama proses menunjukkan peran enzim ini dalam dekolorisasi dan proses degradasi, namun tidak terlihat aktivitas untuk laccase dan peroksidase.

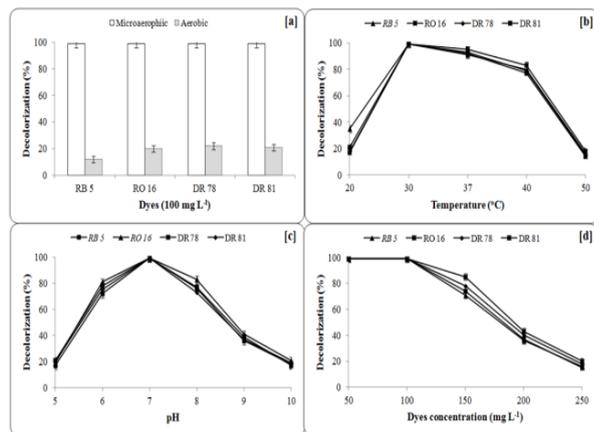


**Gambar 5.** Struktur pewarna azo yang diteliti (Franciscon dkk, 2011)

Hasil riset ini menunjukkan untuk kondisi statis semua pewarna mengalami dekolorisasi sampai 94% - 98% dan yang tertinggi adalah pewarna RY107. Sementara pada kondisi aerobic semua mengalami dekolorisasi sampai 99%.

#### Biodegradasi dengan Bakteri.

Biodegradasi menggunakan konsorsium bakteri *Providencia rettgeri* strain HSL1 dan *Pseudomonas sp.* SUK1 terhadap pewarna *Reactive Black 5* (RB 5), *Reactive Orange 16* (RO 16), *Disperse Red 78* (DR 78) dan *Direct Red 81* (DR 81) telah diteliti oleh Harshad Lade dkk (2015). Riset dilakukan dengan prosedur 12 hingga 30 jam dengan konsentrasi 100 mg L<sup>-1</sup> pada 30 ± 0,2 ° C dalam proses aerobik / mikroaerofilik dan mikroaerofilik / aerobik sekuensial. Namun, dekolorisasi dalam kondisi mikroaerofilik yaitu. RB 5 (0,26 mM), RO 16 (0,18 mM), DR 78 (0,20 mM) dan DR 81 (0,23 mM) dan proses aerobik / mikroaerofilik berurutan yaitu: RB 5 (0,08 mM), RO 16 (0,06 mM), DR 78 (0,07 mM) dan DR 81 (0,09 mM) itu menghasilkan pembentukan senyawa amina aromatik.

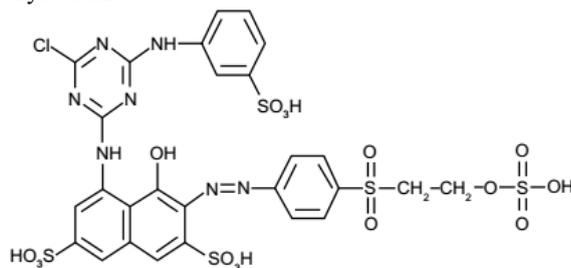


**Gambar 6.** Efek pengocokan inkubasi & mikroaerofilik (a) dan efek suhu (b), efek pH (c) dan konsentrasi pewarna (d) (H.Lade dkk, 2015)

Terlihat bahwa pada kondisi mikroaerofilik semua pewarna mengalami dekolorisasi sempurna yaitu 100% (6a) sementara suhu optimum adalah  $30 \pm 0.2$  °C (6b).

Sementara itu pH optimum didapatkan pada pH 7.0 (6c) dan efek konsentrasi pewarna menunjukkan semakin besar konsentrasi semakin kecil persentase dekolorisasi (6d).

Nawahwi, dkk (2013) telah meneliti degradasi terhadap pewarna Reactive Red 195 menggunakan *Paenibacillus spp. R2*. Pewarna azo yang disebut SFRed (*Reactive Red 195*) ditemukan terdegradasi menggunakan bakteri gram negatif, *coccobacillus*, bakteri anaerob fakultatif, *Paenibacillus sp. R2* menjadi asam  $\alpha$ -ketoglutarat dengan akumulasi sementara dari asam 4-aminobenzenesulphonic (asam sulphanilat), asam 4-amino, 3-hydronapthalenesulphonat dan asam 4-amino, 5-hydronapthalene 2,7 disulfonat sebagai intermediet degradasi dalam kultur batch fakultatif anaerob. Warna dan total karbon organik (TOC) masing-masing berhasil dihilangkan lebih dari 95% dan hingga 50%. Tidak ada korelasi yang signifikan antara pH dan deplet oksigen karena ada sedikit perubahan dalam pH yang diamati (pH dari 7,21-7,25). Metabolisme glukosa anaerob sebagai co-metabolit juga terbukti memberikan elektron yang dibutuhkan untuk inisial pemutusan reduktif dari senyawa azo.



**Gambar 7.** Struktur Pewarna *Reactive Red 195*

Menurut M.Sudha dkk,(2014), beberapa bakteri sudah dilaporkan dapat mendegradasi senyawa pewarna azo diantaranya *Enterococcus faecalis* YZ 66 mendegradasi Reaktif Orange II, *Enterobacter agglomerans* mendegradasi Metil Merah, *Enterobacter sp* mendegradasi C.I Reactive Red 195, *Bacillus subtilis* mendegradasi Acid Blue 113, *Brevibacillus laterosporus* MTCC2298 mendegradasi Navy blue 3G dan *Bacillus Fusiformis kmk 5* mendegradasi Acid Orange 10 & Disperse Blue 79. Bakteri *Staphylococcus arlettae* fakultatif, diisolasi dari lumpur yang diaktifkan pada industri tekstil, berhasil mendekolorisasi empat pewarna azo yang berbeda di bawah mikroaerofilik kondisi (persentase dekolorisasi > 97%).

### III. Kesimpulan

Permasalahan pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah pewarna yang salah satunya adalah golongan azo harus terus dikembangkan karena akan menimbulkan masalah lingkungan, kesehatan estetika yang serius jika tidak bisa ditanggulangi. Biodegradasi menggunakan bakteri, jamur maupun enzim sangat menjanjikan disamping metode-metode lain baik itu fisika maupun kimia.

Berbagai jenis bakteri, jamur dan enzim sudah terbukti dapat mendegradasi warna dan toksisitas limbah karena uji toksisitas juga sangat penting untuk memastikan bahwa tingkat racun sebelum dan sesudah proses degradasi menurun atau malah meningkat. Karena kemungkinan dapat terjadi tingkat toksik bertambah walaupun terjadi dekolorisasi. Pengembangan metode ini perlu diperluas lagi dengan penemuan mikroba-mikroba baru yang dapat mendegradasi pewarna-pewarna sintesis lain yang berbahaya.

### Daftar Pustaka

- Andrea Zille et.al., (2005), Degradation of Azo Dyes by *Trametes villosa* Laccase over Long Periods of Oxidative Conditions, Applied and Environmental Microbiology, p. 6711–6718 Vol.71, No.11
- Atria Martina, Rodesia Mustika Roza dan Jan Riama Sirait, Biodegradasi Pewarna Azo *Mordant Black 17* Oleh *Ganoderma sp.* BTA1 Isolat Lokal, Prosiding Semirata 2015 bidang MIPA BKS- PTN Barat Universitas Tanjungpura Pontianak ,Hal 10 - 18
- Nascimento et.all (2011)., Degradation and Detoxification of Three Textile Azo Dyes by Mixed Fungal Cultures from Semi-Arid Region of Brazilian Northeast, Brazilian Archives of Biology and Technology an International Journal, Vol.54, n.3: pp. 621-628, ISSN 1516-8913
- E. Franciscon, et.all (2012)., Decolorization and

- Biodegradation of Reactive Sulfonated Azo Dyes by A Newly Isolated *Brevibacterium sp.* Strain VN-15, Springer Plus, 1 : 37
- Harshad Lade, et.al (Jan 2015), Biodegradation and Detoxification of Textile Azo Dyes By Bacteria Consortium Under Sequential Microaerophilic/Aerobic Processes, EXCLI Journal 2015;14:158-174 – ISSN 1611-2156
- J.T Chacko & K. Subramaniam (2011), Enzymatic Degradation of Azo Dyes- A Review, International Journal of Environmental Science, Volume 1 No. 6, ISSN 0976-4402
- M. Sudha, et.al (2014)., Microbial degradation of Azo Dyes: A review, *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci* (2014) 3(2): 670-690.
- M.Z. Nahwawi, et.al,(2013), Degradation of the Azo Dye *Reactive Red 195* by *Paenibacillus spp. R2*, Journal of Bioremediation & Biodegradation, 4:1
- P.S Komala dkk (2007)., Pengolahan Zat Warna Azo Menggunakan Bioreaktor Membran Konsekutif Aerob-Anaerob, Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, ISSN : 1411 - 421