

Pengaruh Persentase PVA-Alginat *Beads* Terhadap Tingkat Dekolorisasi Pewarna Sintetis Azo Menggunakan Konsorsium Bakteri Amobil

Christina Ekawati Halim*, Kezia Abib Yerah Tjandra, Venisa Yosephi, Agustin Krisna Wardani

Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya, Indonesia, Jln. Veteran Malang, Ketawanggede, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65145

*Penulis korespondensi: ekawatichristin@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.24198/cna.v7.n2.23092>

Abstrak: Pewarna merupakan salah satu komponen dalam industri tekstil yang sangat penting. Salah satu senyawa pewarna seperti pewarna Azo pada limbah cair tekstil memiliki bahan pencemar yang berbahaya bagi lingkungan. Dekolorisasi pewarna menggunakan metode fisik dan kimia membutuhkan biaya yang tinggi dan masih menghasilkan hasil samping yang beracun, sehingga diperlukan pendekatan dekolourisasi menggunakan metode biologis yang lebih ramah lingkungan dengan memanfaatkan konsorsium bakteri seperti *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis*. Konsorsium bakteri diamobilisasi menggunakan *beads* dengan variasi perbandingan PVA-alginat 8:1, 10:1, dan 12:1. Pengujian menunjukkan bahwa komposisi PVA dan alginat mempengaruhi kemampuan dekolourisasi pewarna sintetis azo. Parameter yang diuji antara lain kebocoran *beads* menggunakan spektrometri, tingkat *swelling* dengan mengukur diameter *beads*, serta tingkat dekolourisasi menggunakan spektrometri. Perbandingan PVA-alginat 8:1 memiliki nilai persentase dekolourisasi paling besar (47,71%), tingkat kebocoran sel yang paling besar (O.D. 0,849), serta ukuran pori sebesar 6,306 μm . Perbandingan PVA-alginat 12:1 memiliki nilai persentase dekolourisasi yang paling kecil (36,99%), tingkat kebocoran sel sebesar (O.D) 0,733, dan ukuran pori sebesar 2,557 μm . Perbandingan PVA-alginat 10:1 menunjukkan tingkat dekolourisasi sebesar 42,71% dengan nilai *swelling* yang paling rendah (0,5 mm), ukuran pori sebesar 5,089 μm serta bentuk dan tingkat aglomerasi yang paling baik. Perbandingan PVA-alginat 10:1 merupakan perbandingan terbaik yang dapat digunakan dalam mendekolourisasi pewarna sintetis azo.

Kata kunci: dekolourisasi, pewarna azo, *beads*, amobilisasi, konsorsium bakteri

Abstract: Dye is one of the main components in the textile industry. The azo dye in textile waste water contains hazardous pollute chemical to the environment. Dye decolourization by physical and chemical methods requires high cost, and produces toxic byproduct, so biological method as an environmentally friendly solution is necessary by using bacterial consortium consist of *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, and *Bacillus subtilis*. Percentage variation of PVA-alginate used as immobilization matrix (8:1), (10:1), and (12:1) significantly affects decolourization level of azo dye. Parameters measured were swelling value, cell leakage, and decolourization level. Cell leakage and decolourization were measured using spectrometry, while swelling value measured based on increase of beads size. PVA-alginate (8:1) ratio has maximum decolourization level and cell leakage level of 47,71% and O.D. 0,849 respectively, with pore size by 6,306 μm . PVA-alginate (12:1) ratio has minimum decolourization level and cell leakage level of 36.99% and O.D. 0.733 respectively, with pore size by 2.557 μm . PVA-alginate (10:1) ratio has decolourization level of 42.71% and lowest swelling value of 0.5 mm, 5.089 μm of pore size with decent shape and agglomeration. PVA-alginate (10:1) ratio is the finest concentration in decolourization of azo dye.

Keywords: decolourization, azo dye, *beads*, immobilization, bacterial consortium

PENDAHULUAN

Industri tekstil merupakan salah satu industri dengan perkembangan yang cukup pesat di Indonesia. Jumlah industri tekstil di Indonesia terus mengalami peningkatan dalam jangka waktu 5 tahun, yakni dari 4.881 industri pada tahun 2011 dengan kapasitas 8.859.165 ton dan pada tahun 2015

mencapai 5.273 industri dengan kapasitas 10.854.594 ton (Kemenperin 2017). Salah satu komponen penting dalam industri tekstil adalah senyawa pewarna. Pewarna azo merupakan pewarna yang paling sering digunakan sebanyak 60-70% dari seluruh total jenis pewarna. Dalam industri, sekitar 40% dari air limbah tekstil merupakan pewarna azo

yang digunakan dalam proses pencelupan kain dengan kandungan bahan organik seperti enzim, deterjen, dan bahan-bahan organik lainnya yang tinggi (Sastrawidana dkk. 2008). Berbagai metode degradasi dan dekolorisasi pewarna sintetis secara fisik maupun kimia telah diterapkan. Namun metode-metode tersebut kurang efektif karena memerlukan biaya yang tinggi, energi yang intensif serta penggunaannya dapat menghasilkan produk samping yang beracun (Gül 2013; Hadibarata *et al.* 2013; Hameed & Zainab 2018). Salah satu langkah alternatif untuk mendekolorisasi pewarna sintetis adalah penggunaan metode biologis dengan mikroorganisme. Metode ini lebih ekonomis dengan tingkat bahaya yang rendah serta ramah lingkungan (Zabłocka-Godlewska *et al.* 2014)

Penggunaan mikroorganisme berupa konsorsium bakteri menghasilkan tingkat degradasi yang lebih baik dibandingkan bakteri tunggal (Rahmawati 2015). Beberapa bakteri seperti *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Klebsiella* dan *Escherichia coli* merupakan bakteri yang dapat mendekolorisasi beberapa jenis pewarna azo, antara lain direct blue dan acid fast N blue dengan tingkat dekolorisasi 46%-60% (Mabrouk & Yusef 2008). Untuk meningkatkan aktivitas degradasi dan dekolorisasi dapat digunakan teknik amobilisasi. Teknik amobilisasi merupakan teknik memerangkap sel dalam suatu matriks yang memiliki beberapa kelebihan seperti meningkatkan daya tahan bakteri terhadap lingkungan, kemampuan pengontrolan reaksi, serta dapat digunakan berulang kali sehingga mengurangi biaya. Penggunaan matriks amobilisasi berupa polyvinyl alcohol (PVA) dan alginat akan menghasilkan matriks yang kuat dan elastis serta non-toksik (Manivasagan *et al.* 2017). Perbandingan komposisi PVA dan alginat menentukan terbentuknya ukuran pori yang terbentuk pada permukaan beads amobilisasi, sehingga diperlukan adanya studi optimalisasi karakteristik beads terhadap tingkat dekolorisasi pewarna azo. Dekolorisasi dilakukan dengan menggunakan pewarna sintetis azo komersial sebagai representatif dengan warna acid blue.

BAHAN DAN METODE

Pewarna Sintetis

Pewarna sintetis azo didapatkan dari pewarna komersial 'Dylon' varian Navy Blue dengan komposisi Acid Blue. Larutan pewarna dilarutkan dengan Mineral Salt Media (MSM). Seluruh bahan kimia yang digunakan dalam penelitian merupakan analytical grade (AR) yang didapatkan dari Duta Jaya Labware, Malang Indonesia. Seluruh media yang digunakan mikrobiologi didapatkan dari Himedia dan Oxoid.

Bakteri

Empat strain bakteri yang digunakan dalam penelitian adalah *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, *Klebsiella pneumoniae* and *Escherichia coli*

dimana semua bakteri diperoleh dari LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia).

Preparasi Inokulum dan Medium

Masing-masing bakteri disubkultur pada media Nutrient Agar (NA) dan diinokulasikan pada nutrient broth kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu at 37°C hingga mencapai fase eksponensial (absorbansi 600 nm). Mineral Salt Media (MSM) yang terdiri dari dipotassium hidrogen fosfat (K_2HPO_4) sebanyak 1.73 g/l, potasium dihidrogen fosfat (KH_2PO_4) – 0.68 g/l, magnesium sulfat ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) – 0.1 g/l, natrium klorida (NaCl) sebanyak 4 g/l, ferrous sulfat ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) sebanyak 0.03 g/l, amonium nitrat (NH_4NO_3) sebanyak 1 g/l, kalsium klorida ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$) sebanyak 0.02 g/l dan glukosa sebanyak 5 g/l serta konsentrasi pewarna Azo sebesar 75 ppm. Medium disterilisasi 121°C selama 20 menit. 5 g/l gula (disterilisasi secara terpisah) digunakan sebagai sumber karbon dan ditambahkan ke dalam medium sebelum inokulasi.

Amobilisasi Konsorsium Bakteri

Metode amobilisasi yang digunakan merupakan modifikasi dari penelitian Manivasagan (2017). Amobilisasi dilakukan dengan menggunakan matriks PVA-alginat dengan variasi perbandingan 8:1, 10:1 dan 12:1. Inokulum diambil 10% (v/v) dari total media dengan rasio perbandingan seimbang dari masing-masing bakteri sebesar 1,3% (v/v). Bakteri pada fase eksponensial disentrifugasi dengan kecepatan 6000 RPM selama 10 menit untuk memisahkan dari supernatan. Sebanyak 5 ml supernatan dibuang dan sisanya dicampurkan dengan pelet kembali. Campuran pelet dan supernatan keempat bakteri dicampur kembali dalam satu wadah dengan volume akhir 5 mL. Inokulum dicampurkan dengan 1% (w/v) sodium alginat dan 10% (w/v) polyvinyl alcohol sebanyak 45 ml yang telah disterilisasi 121°C selama 20 menit. Larutan campuran kemudian diteteskan menggunakan syringe pada 7% (w/v) kalsium klorida ($CaCl_2$) dan 5% (w/v) asam borat (H_3BO_3) dingin. Beads yang terbentuk kemudian diangkat dan direndam di dalam larutan kalsium klorida 7% selama 30 menit kemudian dicuci menggunakan akuades steril sebanyak dua kali. Beads disimpan pada buffer Tris-HCl dengan pH 8 dengan suhu 4°C hingga siap digunakan.

Uji Dekolorisasi

Pengujian dekolorisasi dilakukan pada labu Erlenmeyer 250 mL yang berisi 250 mL Mineral Salt Media (MSM) dengan 75 ppm pewarna Azo. Setiap labu Erlenmeyer berisi 20 gram beads yang diinkubasi pada 37°C dalam shakerwaterbath (Memmert) selama 4 hari. Sampel dari masing-masing warna diambil setiap 24 jam. Sebanyak 15 ml larutan pewarna disentrifugasi 6000 RPM selama 10 menit. Dekolorisasi diukur dengan mengukur absorbansi dari supernatan menggunakan

spektrofotometer pada panjang gelombang maksimum pewarna azo acid blue ($\lambda=578$ nm). Persentase dekolorisasi dihitung menggunakan perhitungan berikut (Lade *et al.* 2015):

$$\% \text{ Dekolorisasi} = \frac{A_{awal} - A_{akhir}}{A_{awal}} \times 100\%$$

Dengan A_{awal} = Absorbansi awal
 A_{akhir} = Absorbansi akhir

Variabel yang Diamati

Variabel yang diamati berupa nilai swelling beads berdasarkan penambahan ukuran diameter beads (mm), kebocoran sel berdasarkan absorbansi menggunakan spektrofotometer, persentase dekolorisasi total yang diamati berdasarkan absorbansi menggunakan spektrofotometer (OD_{578}), dan bentuk beads. Pengujian swelling dilakukan dengan merendam 30 buah beads amobilisasi di dalam labu erlenmeyer berisi 100 mL aquades steril. Pengamatan dilakukan dengan mengukur diameter beads yang diamati setiap 24 jam. Aquades steril diganti setiap 24 jam dengan kondisi inkubasi dalam suhu ruang tanpa adanya agitasi. Pengujian kebocoran sel dilakukan dengan memasukkan 10 gram beads ke dalam labu erlenmeyer berisi 100 mL pepton steril. Kemudian diamati absorbansi pepton setiap 24 jam menggunakan spektrofotometer. Pengolahan data yang didapat dilakukan menggunakan analisis ragam ANOVA dan uji lanjut Tukey (Lade *et al.* 2015).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Persentase PVA-Alginat terhadap Nilai Swelling

Nilai swelling yang paling besar pada konsentrasi 8:1 sebesar 1,88 mm yang diikuti oleh 12:1 sebesar 0,63 mm dan 10:1 sebesar 0,50 mm. Hasil analisis varian uji Levene pada perbandingan PVA-alginat menghasilkan nilai $p=0.054$ yang menunjukkan adanya variansi pada nilai swelling. Analisis ragam perbandingan PVA-alginat dengan nilai swelling menunjukkan bahwa nilai signifikan sampel adalah 0,001 sedangkan nilai signifikan level adalah 0,05. Nilai signifikan sampel tersebut menunjukkan bahwa perbandingan PVA-alginat memberikan pengaruh yang nyata pada nilai swelling. Analisis ragam dinyatakan berbeda nyata sehingga dilanjutkan dengan uji lanjut Tukey pada selang kepercayaan 95%. Data hasil uji lanjut menunjukkan adanya perbedaan yang tidak nyata pada perbandingan PVA-alginat 10:1 dan 12:1 serta memberikan hasil yang nyata pada perbandingan 8:1. Hasil uji nilai derajat kesamaan dapat dilihat pada Tabel 1 dengan selang kepercayaan sebesar 5%.

Swelling menghasilkan stabilitas mekanik yang buruk karena struktur beads akan menjadi lunak dan mudah rusak sehingga akan menurunkan kemampuan penggunaan kembali (reusability) beads (Chen *et al.*

2012). Selain itu, semakin besar swelling juga akan mempengaruhi ukuran pori dan mempercepat degradasi antar ikatan pada matriks beads (Plavsic *et al.* 2009). Oleh sebab itu, digunakan beads dengan nilai swelling paling kecil untuk mendapatkan kemampuan dekolorisasi dan kestabilan beads paling baik.

Tabel 1. Nilai swelling (mm) Terhadap Variasi Konsentrasi Alginat dan PVA

Konsentrasi PVA:alginat	Nilai rata-rata <i>swelling</i> (mm)
8:1	1,88 ^a
10:1	0,50 ^b
12:1	0,63 ^b

Keterangan: Menurut uji Tukey 5% huruf yang sama tidak berbeda nyata

Pengaruh Persentase PVA-Alginat terhadap Kebocoran Sel

Variasi konsentrasi 8:1 memiliki nilai rata-rata kebocoran *beads* yang paling besar yaitu 0,849 diikuti dengan 10:1 sebesar 0,657 dan sedikit perbedaan pada 12:1 sebesar 0,733. Hasil analisis ragam perbandingan PVA-alginat dengan persentase dekolorisasi menunjukkan bahwa nilai signifikan sampel sebesar 0,000 yang menunjukkan bahwa perbandingan PVA-alginat memberikan pengaruh yang nyata pada tingkat kebocoran sel. Analisis ragam dinyatakan berbeda nyata sehingga dilanjutkan dengan uji lanjut Tukey pada selang kepercayaan 95%. Data hasil uji lanjut menunjukkan ketiga perbandingan memiliki perbedaan yang nyata dengan α sebesar 0.05. Nilai rata-rata derajat kesamaan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kebocoran (O.D) Variasi Konsentrasi Alginat dan PVA

Konsentrasi PVA:alginat	Nilai rata-rata Tingkat kebocoran sel (O.D)
8:1	0.849 ^a
10:1	0.657 ^b
12:1	0.733 ^c

Keterangan: Menurut uji Tukey 5% huruf yang sama tidak berbeda nyata

Konsentrasi PVA akan mempengaruhi kebocoran beads berkaitan dengan ukuran pori yang dimiliki oleh beads. Semakin besar konsentrasi PVA akan mempengaruhi kerapatan pori-pori pada beads. Semakin besar pori-pori yang dimiliki, maka nutrisi dan oksigen akan semakin mudah diakses oleh bakteri sehingga metabolisme akan berjalan lebih

cepat (Zhan *et al.* 2013). Selain itu, pori-pori yang besar juga akan meningkatkan bocornya sel bakteri yang terperangkap pada matriks, sehingga semakin besar konsentrasi PVA maka kebocoran sel akan semakin sedikit. Besarnya kebocoran sel pada perbandingan PVA:alginat = 12:1 disebabkan karena adanya degradasi ekor beads sehingga mempengaruhi absorbansi.

Pengaruh Perbandingan PVA-Alginat terhadap Persentase Dekolorisasi

Perbandingan konsentrasi PVA-Alginat menghasilkan tingkat dekolourisasi yang berbeda. Variasi perbandingan konsentrasi PVA:alginat 8:1 memiliki rata-rata persentase dekolourisasi paling besar sebesar 47,71% diikuti dengan konsentrasi 10:1 sebesar 42,71% dan konsentrasi 12:1 sebesar 36,99% dengan masa inkubasi 96 jam. Hasil analisis ragam perbandingan PVA-alginat dengan persentase dekolourisasi menunjukkan bahwa nilai signifikan sampel adalah 0,000 sedangkan nilai signifikan level adalah 0,05. Nilai signifikan sampel tersebut menunjukkan bahwa perbandingan PVA-alginat memberikan pengaruh yang nyata pada persentase dekolourisasi. Analisis ragam dinyatakan berbeda nyata sehingga dilanjutkan dengan uji lanjut Tukey pada selang kepercayaan 95%. Data hasil uji lanjut menunjukkan ketiga perbandingan memiliki perbedaan yang nyata dengan α sebesar 0,05. Nilai rata-rata derajat kesamaan dapat dilihat pada Tabel 3.

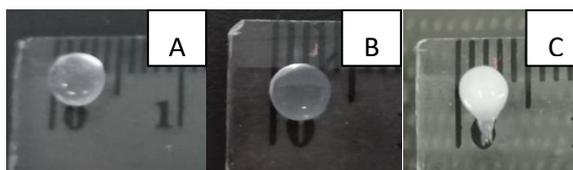
Tabel 3. Persentase Dekolorisasi (%) Terhadap Variasi Konsentrasi Alginat dan PVA

Konsentrasi PVA:alginat	Nilai rata-rata Persentase Dekolorisasi (%)
8:1	47.71 ^a
10:1	42.71 ^b
12:1	36.99 ^c

Keterangan: Menurut uji Tukey 5% huruf yang sama tidak berbeda nyata

Penelitian sebelumnya menunjukkan, PVA berperan besar dalam kekuatan dan ketahanan beads, sedangkan kalsium alginat akan menambah kemampuan permukaan beads sehingga dapat mengurangi aglomerasi (Dave & Madamwar 2006). Terdapat kecenderungan penurunan kemampuan dekolourisasi seiring dengan peningkatan konsentrasi PVA pada beads. Menurut Zhan *et al.* (2013), kenaikan konsentrasi PVA akan menghasilkan beads dengan ukuran pori-pori yang lebih kecil, sehingga transpor nutrisi dan oksigen menjadi lebih rendah. Beads dengan konsentrasi 12:1 memiliki pori-pori yang lebih kecil dan padat sehingga akses nutrisi dan oksigen pada konsorsium bakteri menurun dan mengakibatkan berkurangnya persentase

dekolourisasi. Gambar 1 menunjukkan penampang beads amobilisasi dengan perbedaan komposisi perbandingan PVA-alginat. PVA-alginat perbandingan 8:1 dan 10:1 memiliki bentuk bulat, sedangkan perbandingan 12:1 memiliki ekor di bagian bawah beads. Hal tersebut dapat dikaitkan dengan viskositas dari campuran PVA-alginat yang digunakan. Semakin tinggi konsentrasi dari PVA yang digunakan, semakin tinggi pula viskositas campuran matriks. Viskositas yang terlalu tinggi tidak ideal untuk membentuk beads yang bulat sempurna (Lee *et al.* 2013).

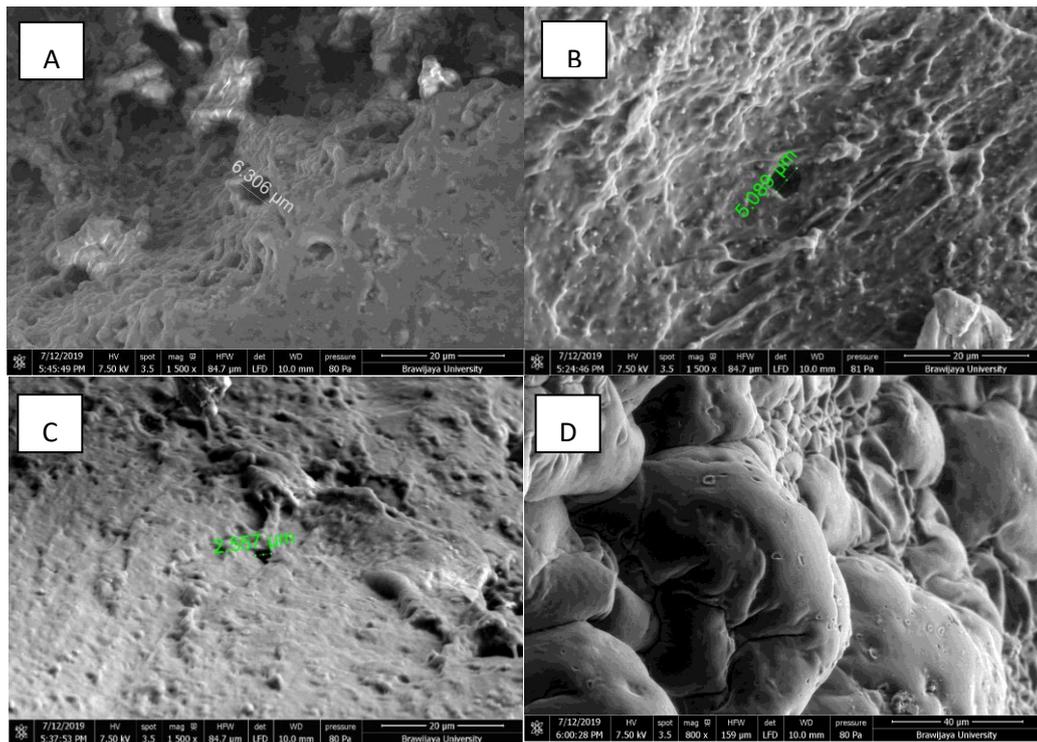


Gambar 1. Penampang beads komposisi perbandingan (A) PVA:alginat (8:1) memiliki bentuk bulat; (B) PVA:alginat (10:1) memiliki bentuk bulat; (C) PVA:alginat (12:1) memiliki ekor dibagian akhir beads

Struktur penampang melintang dari beads dengan masing-masing perbandingan juga diamati menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) pada perbesaran 1500 \times menggunakan alat FEI Quanta FEG 650. Hasil pengamatan dengan SEM (Gambar 2) menunjukkan bahwa perbandingan 8:1 memiliki rata-rata ukuran pori sebesar 6,306 μm , perbandingan 10:1 memiliki ukuran pori 5,089 μm , serta perbandingan 12:1 memiliki ukuran pori 2,557 μm . Beads dengan variasi konsentrasi 8:1 memiliki ukuran pori yang besar yang ditunjukkan oleh hasil pengujian biodegradasi, pengamatan SEM dan pengujian kebocoran beads. Ukuran pori yang besar juga akan menghasilkan nilai swelling yang cukup tinggi. Selain itu, kenampakan fisik dan cairan beads terlalu cair, tidak beraglomerasi dan sulit dibuat menjadi beads. Sedangkan beads dengan konsentrasi 12:1 memiliki ukuran pori-pori yang kecil, namun memiliki tingkat swelling yang paling besar dengan kenampakan fisik memiliki ekor dan cairan beads yang terlalu kental dengan aglomerasi yang besar dan sulit dibuat menjadi beads. Oleh sebab itu, konsentrasi 10:1 merupakan variasi penghasil beads terbaik yang bersifat kuat, elastis dengan bentuk spherical.

KESIMPULAN

Perbandingan PVA dan alginat yang digunakan sebagai penyusun matriks amobilisasi memiliki pengaruh terhadap tingkat biodegradasi, tingkat swelling, dan kebocoran yang terjadi. Pengujian yang telah dilakukan menunjukkan rasio komposisi antara PVA-alginat berpengaruh nyata terhadap kemampuan



Gambar 2. Kenampakan beads amobilisasi pada SEM. Perbesaran 1500×: (A) Penampang melintang *beads* perbandingan 8:1 dengan ukuran pori-pori 6.306 μm, (B) Penampang melintang *beads* perbandingan 10:1 dengan ukuran pori-pori 5.089 μm, (C) Penampang melintang *beads* perbandingan 12:1 dengan ukuran pori-pori 2.557 μm, Perbesaran 800×: (D) Permukaan *beads* perbandingan 10:1.

dekolorisasi pewarna sintetis azo. Nilai swelling terbesar dihasilkan dari komposisi perbandingan PVA:alginat 8:1 sebesar 1,88 mm yang diikuti dengan perbandingan 12:1 sebesar 0,63 mm dan 10:1 sebesar 0,50 mm. Tingkat kebocoran beads tertinggi dihasilkan oleh perbandingan PVA-alginat 8:1 sebesar (O.D) 0,849, diikuti oleh perbandingan 12:1 sebesar (O.D) 0,733 dan terakhir oleh perbandingan 10:1 sebesar (O.D) 0,657. Persentase dekolorisasi terbesar dihasilkan oleh komposisi PVA-alginat perbandingan 8:1 sebesar 47,71%, diikuti dengan perbandingan 10:1 sebesar 42,71% dan perbandingan 12:1 sebesar 36,99%. Beads komposisi perbandingan 8:1 menghasilkan persentase dekolorisasi yang paling tinggi namun memberikan nilai swelling dan tingkat kebocoran sel yang paling besar yang dikarenakan ukuran pori yang paling besar (6,306 μm), sedangkan beads komposisi perbandingan 12:1 menghasilkan tingkat kebocoran sel yang paling kecil namun menghasilkan persentase dekolorisasi yang paling kecil dengan ukuran pori terkecil sebesar 2,557 μm. Hasil pengujian terhadap ketiga parameter menunjukkan komposisi perbandingan PVA-alginat 10:1 memiliki kestabilan yang baik serta memberikan tingkat dekolorisasi tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ketua Laboratorium Bioteknologi Pangan THP FTP

Universitas Brawijaya Dr. Ir. Aji Sutrisno M.Sc, Laboran Laboratorium Bioteknologi Pangan Vita Nur Mufidah, STP, dan Ketua Laboratorium Mikrobiologi Pangan THP FTP Universitas Brawijaya Dr. Ir. Joni Kusnadi, M.Si, Laboran Laboratorium Mikrobiologi Pangan Citra Merryrna Kinanti, STP, yang telah membantu dalam mengerjakan penelitian pada laboratorium yang bersangkutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, X.H., Wang, X.T., Lou, W.Y., Li, Y., Wu, H., Zong, M.H., Smith, T.J. & Chen, X.D. (2012). Immobilization of *Acetobacter* sp. CCTCC M209061 for efficient asymmetric reduction of ketones and biocatalyst recycling. *Microbial Cell Factories*. 11(1): 119.
- Dave, R. & Madamwar, D. (2006). Esterification in organic solvents by lipase immobilized in polymer of PVA-alginate-boric acid. *Process Biochemistry*. 41(4): 951-955.
- Gül, Ü.D. (2013). Treatment of dyeing wastewater including reactive dyes (Reactive Red RB, Reactive Black B, Remazol Blue) and Methylene Blue by fungal biomass. *Water SA*. 39(5): 593-598.
- Hadibarata, T., Adnan, L.A., Yusoff, A.R.M., Yuniarto, A., Zubir, M.M.F.A., Khudhair, A.B., Teh, Z.C. & Naser, M.A. (2013). Microbial decolorization of an azo dye reactive black 5

- using white-rot fungus *Pleurotus eryngii* F032. *Water, Air, & Soil Pollution*. 224(6): 1595.
- Hameed, B.B. & Ismail, Z.Z. (2018). Decolorization, biodegradation and detoxification of reactive red azo dye using non-adapted immobilized mixed cells. *Biochemical Engineering Journal*. 137: 71-77.
- Kemenperin (2017) Data Industri Tekstil Indonesia 2005-2011, at www.kemenperin.go.id (diakses pada 23 April 2019).
- Lade, H., Kadam, A., Paul, D. & Govindwar, S. (2015). Biodegradation and detoxification of textile azo dyes by bacterial consortium under sequential microaerophilic/aerobic processes. *EXCLI Journal*. 14: 158.-174.
- Lee, B.B., Ravindra, P. & Chan, E.S. (2013). Size and shape of calcium alginate beads produced by extrusion dripping. *Chemical Engineering & Technology*. 36(10): 1627-1642.
- Mabrouk, M.E. & Yusef, H.H. (2008). Decolorization of fast red by *Bacillus subtilis* HM. *Journal of Applied Science Research*. 4(3): 262-269.
- Manivasagan, V., Saranayaya, K., Sapkota, D.G., Kumar, T.M. & Patil, R. (2017) Efficacy of immobilized *Bacillus cereus* during the biodegradation of textile industry effluents. *IMPACT: International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences*. 5(7): 55-62.
- Plavsic, M.B., Pajic-Lijakovic, I., Lazic, N., Bugarski, B. & Putanov, P. (2009). Catalytic degradation processes and swelling of alginate bio-medical gels under influence of oxygen. *Materials and Manufacturing Processes*. 24(10-11): 1190-1196.
- Rahmawati, D. (2015) Remediasi Limbah Proses Pewarna Naptol Jeans Dengan Sistem Lumpur Aktif Menggunakan Bakteri Indigenus. Skripsi Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Sastrawidana, I.D.K., Lay, B.W., Fauzi, A.M. & Santosa, D.A. (2008) Pemanfaatan konsorsium bakteri lokal untuk bioremediasi limbah tekstil menggunakan sistem kombinasi anaerobik-aerobik. *Berita Biologi*. 9(2): 123-132.
- Zabłocka-Godlewska, E., Przystaś, W. & Grabińska-Sota, E. (2014). Decolourisation of different dyes by two *Pseudomonas* strains under various growth conditions. *Water, Air, & Soil Pollution*. 225(2): 1846.
- Zhan, J.F., Jiang, S.T. & Pan, L.J. (2013). Immobilization of phospholipase A1 using a polyvinyl alcohol-alginate matrix and evaluation of the effects of immobilization. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 30(4): 721-728.
-