

Perbandingan Kinerja *Sequencing Batch Reactor* dengan dan Tanpa Media *Bioball* untuk Mengolah Limbah Batik

Kezya Yiskadini Wirakusuma¹⁾ Intan Supraba¹⁾ Wiratni Budhijanto²⁾

¹⁾ Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

²⁾ Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

E-mail : intan.supraba@ugm.ac.id

Abstrak

Sebagai salah satu warisan budaya tak benda yang diakui dunia, industri batik semakin berkembang dan didominasi oleh industri kecil dan menengah. Perkembangan industri batik di Indonesia meningkatkan persoalan lingkungan apabila limbah yang dihasilkan tidak dikelola dengan baik akibat zat pewarna sintesis yang sulit untuk diuraikan. Salah satu cara untuk mengolah limbah batik dengan proses anaerobik maupun aerobik. Penelitian ini menggunakan Sequencing Batch Reactor (SBR) dengan waktu operasi 6 jam untuk mengetahui efisiensi penyisihan konsentrasi warna dan Chemical Oxygen Demand (COD). Efek imobilisasi mikroorganisme dipelajari dengan penambahan bioball. Penelitian ini mempelajari kinerja SBR baik tanpa bioball maupun dengan penggunaan bioball. Hasil menunjukkan bahwa bioball membantu penyisihan warna hingga 29% dan lebih baik daripada tanpa menggunakan bioball. Hasil Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS) menunjukkan adanya penurunan yang diakibatkan adanya penempelan lumpur pada celah-celah bioball. Penambahan bioball membuat kemampuan kualitas pengendapan lumpur meningkat yang mana nilai Sludge Volume Index (SVI) sangat baik yaitu 39 ml/g. Penyisihan COD menghasilkan efisiensi penyisihan yang tidak jauh berbeda yaitu 87% untuk SBR dengan bioball dan 86% tanpa bioball.

Kata kunci : *Bioball, Limbah Batik, Lumpur, Pewarna Sintetis, Proses Aerobik, Sequencing Batch Reactor*

Abstract

As one of the world's recognized intangible cultural heritages, the batik industry is growing and is dominated by small and medium industries. The development of the batik industry in Indonesia increases environmental problems if the waste produced is not being managed properly because synthetic dyes are difficult to decompose. One way to treat batik waste is with anaerobic and aerobic processes. This study uses a sequencing batch reactor with an operating time of 6 hours to determine the efficiency of colour and Chemical Oxygen Demand (COD) concentration removal. The effect of microbial immobilization was studied by adding bioballs. This research considered two scenarios, namely without bioballs and with bioballs. The results showed that bioballs helps the colour removal up to 29% and it was better than the one without using bioballs. The Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS) results showed a decrease due to the attachment of sludge to the gaps in the bioballs. The addition of bioballs increased the ability of sludge settling quality while the Sludge Volume Index (SVI) value was very good at 39 ml/g. COD removal produces a removal efficiency that is not much different, that is 87% for sequencing batch reactors with bioballs, and 86% without using bioballs.

Keywords: *Aerobic Process, Batik Waste, Bioball, Sequencing Batch Reactor, Sludge, Synthetic Dyes*

1. PENDAHULUAN

Batik adalah identitas Bangsa Indonesia yang sudah turun-temurun diwariskan. Industri batik semakin berkembang menjadi industri kreatif dan mengikuti tren yang berkembang di masyarakat. Pelaku industri batik didominasi oleh industri kecil dan menengah. Menteri Perindustrian Agus Gumiwang Kartasasmita menyampaikan bahwa industri batik juga bagian dari industri tekstil yang menjadi salah satu sektor andalan dalam implementasi peta jalan terintegrasi *Making Indonesia 4.0* (Kementrian Perindustrian RI, 2021). Menurut Kementerian Perindustrian RI, capaian ekspor batik pada tahun 2020 mencapai USD532,7 juta dan selama periode triwulan I tahun 2021 mampu menembus USD157,8 juta. Industri batik memberikan kontribusi yang signifikan bagi perekonomian nasional yang membuka banyak lapangan kerja dan berhasil menjadi *market leader* pasar batik dunia.

Industri tekstil merupakan salah satu industri penting yang menghasilkan limbah industri dalam jumlah besar (Manzoor & Sharma, 2020). Kekurangan terbesar dari industri tekstil di Indonesia adalah pengolahan limbah yang sangat buruk (Sitanggang, 2017). Peningkatan industri batik ini akan meningkatkan persoalan lingkungan yang mana peningkatan produksi batik berbanding lurus dengan banyaknya limbah yang dihasilkan (Apriyani, 2018). Pengolah industri batik masih banyak yang kurang memiliki kesadaran untuk melakukan pengolahan limbah cair dari proses pewarnaan batik. Limbah cair industri batik merupakan limbah yang paling banyak dihasilkan dan berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik (Apriyani, 2018). Keadaan di salah satu industri batik Yogyakarta yaitu limbah cair hasil pewarnaan batik langsung dibuang tanpa adanya pengolahan (Mulasari & Widiastuti, 2010). Sampel penelitian yang dilakukan oleh Kabupaten Pekalongan pada tahun 2020 menunjukkan bahwa 100% pengusaha menggunakan zat pewarna sintesis yang terdiri dari 4 golongan yaitu Naphthol, Remasol, Indigizol, dan Reaktif. Pewarna sintesis memiliki banyak keunggulan meliputi jenis warna beragam, ketersediaan terjamin, cerah, stabil, tidak mudah luntur, mudah diperoleh, murah dan mudah digunakan (Pujilestari, 2015). Pewarna sintesis telah memberikan berbagai macam warna yang tahan luntur dan cerah, namun penggunaan zat warna

sintetis memberikan dampak buruk bagi semua bentuk kehidupan dan bersifat karsinogenik (Manzoor & Sharma, 2020). Kontaminan limbah tekstil terbesar pada dasarnya berasal dari pewarna. Pewarna sangat stabil secara kimia, sehingga sulit untuk cepat terdegradasi (Sitanggang, 2017).

Penambahan bahan kimia pada proses pembuatan batik dapat memberikan efek berbahaya jika limbah cair tidak dibuang dengan benar. Jumlah limbah cair batik yang dihasilkan akan berbeda-beda pada setiap penelitian. Sekitar 80%-95% air yang digunakan pada proses pencelupan akan dibuang sebagai limbah cair (Daud et al., 2022). Limbah hasil pewarnaan memiliki zat kimia berbahaya dan beracun yang memberikan dampak buruk bagi lingkungan. Produksi air limbah yang dihasilkan oleh industri batik pada beberapa penelitian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Produksi Limbah Cair Industri Batik

Limbah yang dihasilkan	Ukuran Kain	Referensi
6,23 L	1 m ²	(Handayani et al., 2018)
1309-5549 L	1 pc (2,5 x 1,15m)	(Handayani et al., 2018)
6,26 L (Pekalongan)	1 pc	(Susanty et al., 2015)
26 L (Solo)	1 pc	(Susanty et al., 2015)
119,57 L (Yogyakarta)	1 pc	(Susanty et al., 2015)

Munculnya industri batik yang pesat di Indonesia memerlukan tindakan pengolahan limbah cair yang cepat dan tepat. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengolah limbah cair batik yaitu dengan cara kimia, fisika, maupun biologi (Jannah & Muhimmatin, 2019). Adapun metode yang dapat digunakan yaitu dengan proses anaerob dan aerob. Proses pengolahan air limbah secara aerob lebih efektif dibandingkan dengan anaerob karena membutuhkan waktu yang lebih efisien dan hasil penurunan kadar COD yang lebih besar hingga 76,59% (Sianita & Nurchayati, 2015). *Sequencing Batch Reactor (SBR)* merupakan suatu proses yang dapat berjalan secara aerobik dan anaerobik yang terjadi pada satu reaktor batch. *Aerobic SBR* merupakan sistem pengolahan limbah secara aerob dengan penggunaan gelembung udara sehingga waktu tinggal lebih pendek. *SBR* aerobik dapat mengurangi cemaran limbah tekstil dengan hasil yang lebih baik. Operasional *Anaerobic SBR* mudah dan memiliki kinerja sistem lebih stabil dibandingkan proses

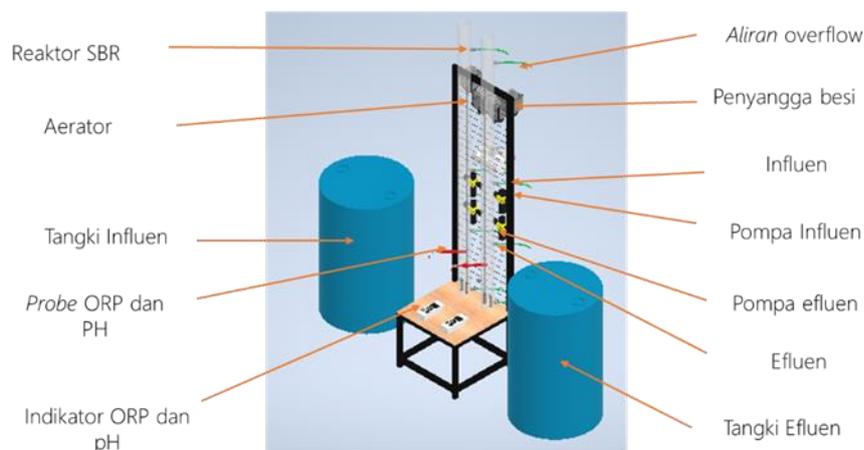
anaerobik konvensional. Pengolahan limbah cair batik menggunakan Hibrid Anaerob yang dioperasikan secara batch dengan media *bioball* dapat menurunkan COD sebesar 90,99% (Aliyuddin, 2018). Penggabungan proses *SBR* dengan bantuan support media berupa *bioball* yang menjadi media untuk pelekatan bakteri akan membantu proses penurunan kadar COD pada pengolahan limbah cair batik. Dalam hal ini, *SBR* dapat berjalan dalam kondisi anaerobik aerobik yang terjadi dalam satu reaktor batch. Penelitian terdahulu belum mencoba mengaplikasikan teknologi *SBR* secara anaerob dan aerob dengan menggunakan media *bioball* untuk mengolah limbah cair batik. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja *SBR* tanpa tambahan media pelekatan bakteri yaitu *bioball* dan dengan penambahan media pelekatan bakteri.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan menggunakan dua skenario yaitu *SBR* tanpa media pelekatan bakteri dan dengan media pelekatan bakteri. *Bioball* digunakan sebagai tempat pelekatan bakteri.

2.1. Alat

Desain alat yang akan digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Reaktor *SBR* memiliki dimensi tinggi 1 m, diameter 9,5 cm dengan dipasang alat yaitu *Oxidation-Reduction Potential* (ORP) untuk memantau reaksi kimia yang terjadi.



Gambar 1. Desain *Sequencing Batch Reactor*



Gambar 2. *Sequencing Batch Reactor* di Laboratorium

Gambar 2 menunjukkan alat *SBR* di laboratorium yang didesain dengan menggunakan pompa untuk memasukkan influen ke dalam reaktor dan mengeluarkan efluen ke dalam tangki. Pompa yang digunakan berjumlah 4 dengan daya 42 W dan 1 aerator dengan daya 45 W. Aerator berfungsi untuk membantu melarutkan oksigen yang ada di udara ke dalam reaktor sehingga terstimulan di dalam cairan. Pompa berfungsi untuk membantu memasukkan influen dari tangki ke dalam reaktor maupun mengeluarkan efluen dari reaktor ke tangki menggunakan selang, apabila terjadi *overflow* maka *influen* akan kembali ke tangki.

2.2. Bahan

1. Inokulum

Inokulum yang digunakan untuk mengembangbiakkan bakteri di dalam reaktor menggunakan lumpur aktif. Inokulum berupa lumpur aktif yang berasal dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Kali Code yang terdapat di Kelurahan Cokrodiningratan, Kecamatan Jetis, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta. Inokulum yang dimasukkan ke dalam reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.

**Gambar 3.** Inokulum

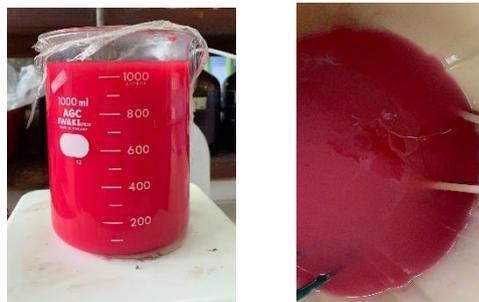
2. Substrat

Substrat yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah artifisial pada tahap aklimatisasi inokulum di reaktor dan limbah batik sintetis. Kandungan limbah artifisial dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan Nutrisi pada Limbah Artifisial

Kandungan limbah Artifisial	Konsentrasi Kandungan Organik
Na-Acetate	1000 mg-COD/L
NH ₄ Cl	100 mg-N/L
MgSO ₄ .7H ₂ O	5 mg-Mg/L
FeSO ₄ .7H ₂ O	5 mg-Fe/L
KH ₂ PO ₄	10 mg-P/L
CaCl ₂	10 mg-Ca/L
NaHCO ₃ *	300 mg-HCO ₃ /L

Limbah batik sintetis dengan COD \pm 750 mg COD/l dibuat dengan cara menghidrolisis 862 mg/l tepung tapioka, 50 mg remazol red (zat pewarna yang digunakan oleh salah satu industri batik di Yogyakarta), 143 mg/l NH₄Cl, 760 mg/l KH₂PO₄ dan 915 mg/l Na₂HPO₄ (lihat Gambar 4).

**Gambar 4.** Limbah Batik Sintetis

2.3. Tahapan Penelitian

Inokulum yang sudah dikembangbiakkan di laboratorium dimasukkan ke dalam *SBR* sebanyak 1/2-liter dan diaklimatisasi dengan pemberian nutrisi satu hari sekali. Kemudian proses *SBR* dengan substrat yang berasal dari limbah batik sintetis dengan dilakukan variasi penambahan media *imobilisasi* menggunakan *bioball*. Untuk hasil penelitian yang dilakukan diambil sampel pada influen, waktu aerasi, dan efluen pada variasi penelitian penambahan media *imobilisasi* bakteri. Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan *SBR* dalam pengolahan limbah cair batik sintesis baik tanpa *bioball* maupun dengan menggunakan *bioball*.



Gambar 5. *SBR* Tanpa *Bioball* **Gambar 6.** *SBR* dengan *Bioball*

2.4. Metode Analisis

Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah *Mixed Liqour Suspended Solid* (MLSS), *Sludge Volume Index* (SVI), *Chemical Oxygen Demand* (COD), ORP dan pewarna dengan uraian pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Parameter dan Cara Pengukuran

Parameter	Cara Pengukuran
COD	Pengukuran nilai COD dilakukan secara berkala mengikuti metode 5220D Chemical Oxygen Demand (COD) APHA, 2017. Sampel yang diukur adalah kandungan dalam influen dan efluen.
Warna	Pengukuran warna dilakukan dengan spektrofotometer UV-VIS. Sampel yang dianalisis adalah sampel influen dan efluen
MLSS	Pengukuran nilai MLSS dilakukan secara berkala dan mengacu pada 2540D Total Suspended Solids Dried at 103-105°C, (APHA, 2017).
SVI	Analisis SVI dilakukan secara berkala dan mengikuti metode 2710D Sludge Volume Index (SVI), APHA, 2017.
ORP	Analisis ORP menggunakan probe yang terinstal pada reaktor.

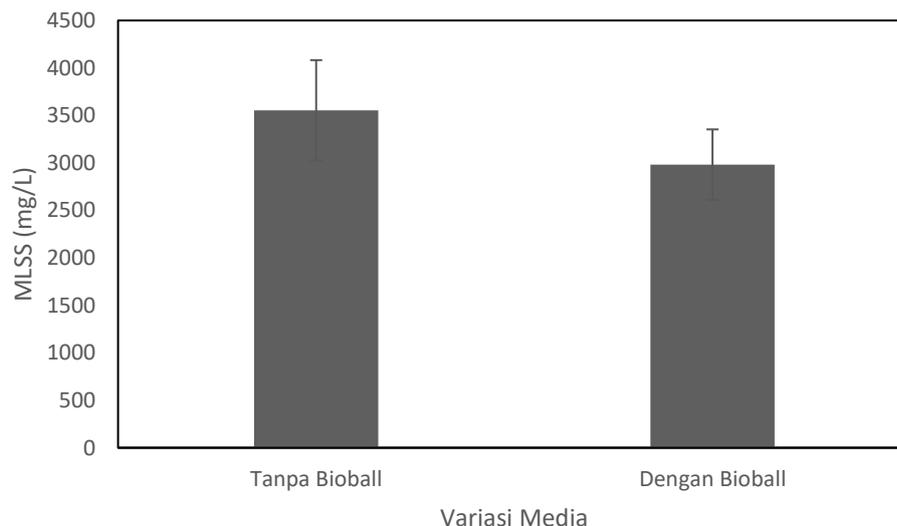
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian terdahulu dengan pengoperasian *SBR* menghasilkan kemampuan penyisihan COD sudah baik pada waktu 6-8 jam yaitu 70-80%. Kenaikan konsentrasi *sludge* selama waktu 6-8 jam mengalami kenaikan yang signifikan. Pengendapan lumpur yang baik pada waktu 6 jam ditunjukkan dengan nilai SVI yang rendah (Ananda et al., 2022). Penyisihan warna pada limbah batik sintesis belum memuaskan karena masih kecil yaitu 30% pada waktu pengolahan selama 48 jam. Dengan demikian diperlukan perbandingan yang dilakukan dengan menambahkan media *bioball* sebagai media imobilisasi bakteri.

Penelitian ini beroperasi selama 6 jam dimulai dengan 1 menit proses penarikan limbah cair batik sintesis (*influent*), kemudian proses tanpa aerasi selama 3 jam, dilanjutkan dengan aerasi selama 3 jam, sebelum dikeluarkan ada proses pengendapan lumpur selama 15 menit, dan terakhir proses pengeluaran limbah terolah (*effluent*) yang ditampung pada sebuah tempat sebelum dibuang. Perbedaan variasi akan dilakukan dengan penambahan media imobilisasi bakteri yaitu *bioball* untuk melihat pengaruh adanya media pelekatan bakteri untuk mengoptimalkan proses penyisihan konsentrasi COD dan konsentrasi pewarna pada limbah cair batik sintesis.

3.1. Konsentrasi Lumpur

Konsentrasi lumpur berkorelasi dengan jumlah mikroorganisme yang tersuspensi di dalam reaktor. MLSS dipantau selama waktu penelitian karena merupakan salah satu kunci dari proses pengolahan limbah cair batik dengan *SBR* (Alattabi et al., 2017). MLSS yang didapatkan untuk mengetahui konsentrasi lumpur di dalam reaktor. Penelitian ini mengukur konsentrasi lumpur di dalam reaktor dengan MLSS dalam limbah yang sedang diolah. Rata-rata konsentrasi MLSS tanpa *bioball* yaitu $3,553 \pm 0,529$ g/L dan konsentrasi MLSS dengan *bioball* yaitu $2,982 \pm 0,371$ g/L (lihat Gambar 7). Penambahan *bioball* mengakibatkan lumpur menempel dan berkembang di dalam celah-celah *bioball* sehingga mengurangi jumlah mikroorganisme tersuspensi. Penempelan lumpur di dalam *bioball* dapat ditunjukkan dengan penurunan MLSS, serta perbedaan antara penelitian menggunakan *SBR* tanpa *bioball* dan dengan *bioball*.

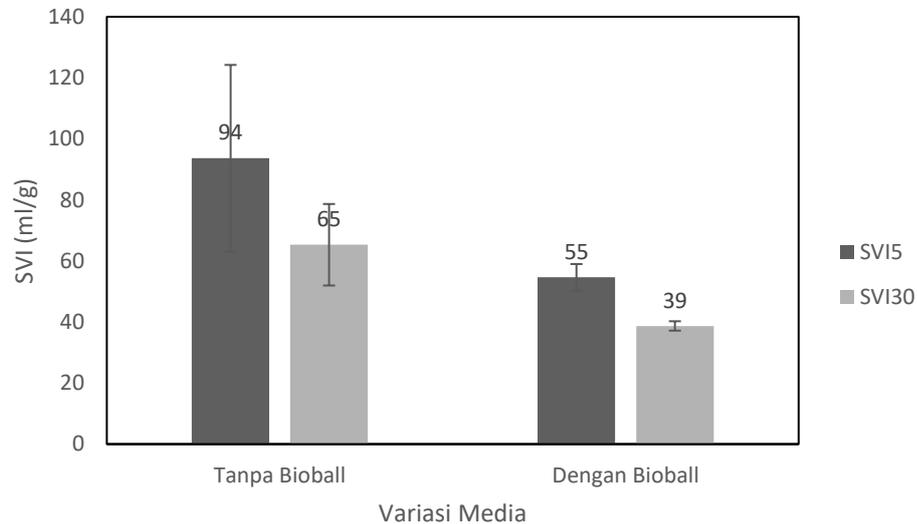


Gambar 7. MLSS pada Perbedaan Variasi Media

3.2. Kualitas Pengendapan Lumpur

Kecepatan pengendapan lumpur menggambarkan kualitas biomassa dalam reaktor. Kecepatan pengendapan yang lebih tinggi mengindikasikan pembentukan granul yang padat sehingga densitas menjadi lebih besar. Nilai SVI dicari untuk mengetahui kualitas pengendapan lumpur. SVI merupakan indikator terbaik untuk sifat pengendapan lumpur (Solomon et al., 2019). Kualitas pengendapan lumpur yang terjadi pada 2 variasi penelitian dilihat dari nilai *Sludge Volume Index* (SVI). Nilai SVI yang mencerminkan *settleability* yang baik berkisar 50-150 ml/gr.

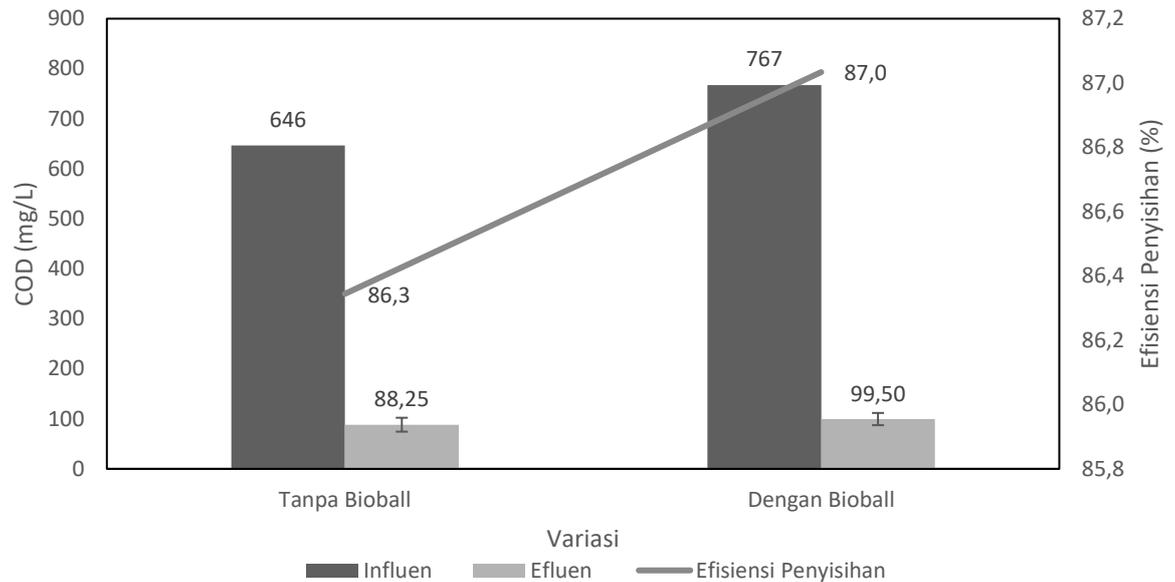
Settling yang digunakan pada penelitian yaitu 15 menit. *Settling* sebagai salah satu parameter kestabilan dan kemampuan pengendapan lumpur. Nilai SVI didapatkan dengan mengetahui volume per gram lumpur setelah diendapkan selama 5 menit dan 30 menit.



Gambar 8. SVI 5 Menit dan 30 Menit

Gambar 8 menunjukkan bahwa variasi media memengaruhi nilai SVI. Nilai SVI pada operasi *SBR* tanpa *bioball* memberikan nilai SVI lebih tinggi daripada dengan menggunakan *bioball*. Nilai SVI yang baik adalah 50-100 ml/g dan sangat baik dalam 0-50 ml/g. Pada penelitian ini penambahan *bioball* menunjukkan kemampuan pengendapan sangat baik.

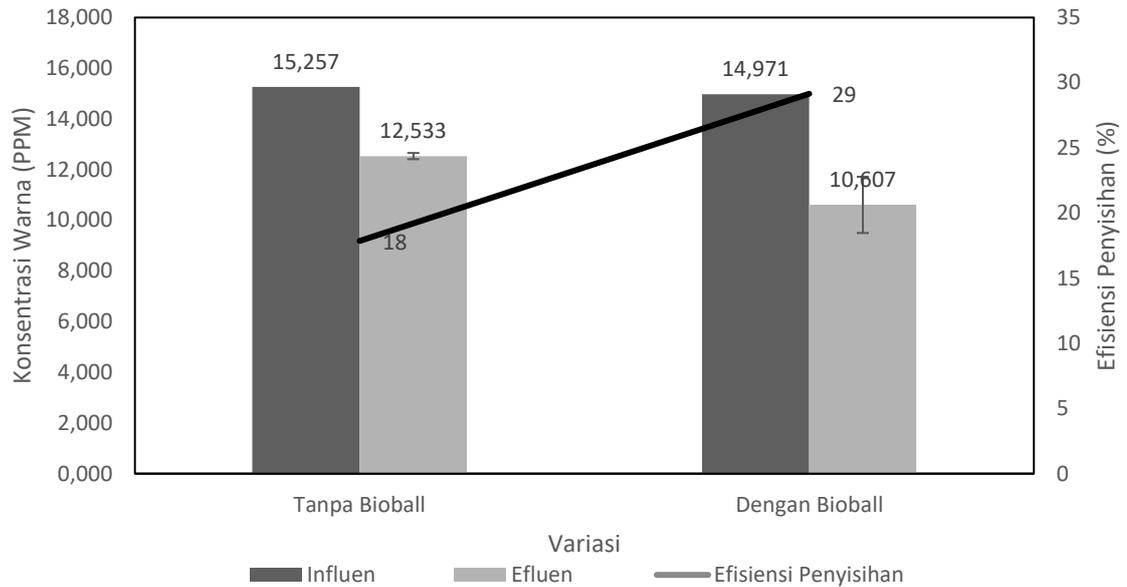
3.3. Penyisihan Konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD)



Gambar 9. Efisiensi Penyisihan Konsentrasi COD

Kemampuan penyisihan COD pada penelitian ini tidak ada perbedaan yang signifikan dari beberapa penerapan adanya penambahan media maupun tidak dengan operasi waktu 6 jam. Gambar 9 menunjukkan laju penyisihan COD pada SBR dengan *bioball* dapat mengurangi konsentrasi dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 87% dan untuk tanpa *bioball* sebesar 86,3%. (Ananda et al., 2022) menunjukkan bahwa SBR mampu mengurangi konsentrasi dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 83%.

3.4. Penyisihan Konsentrasi Warna

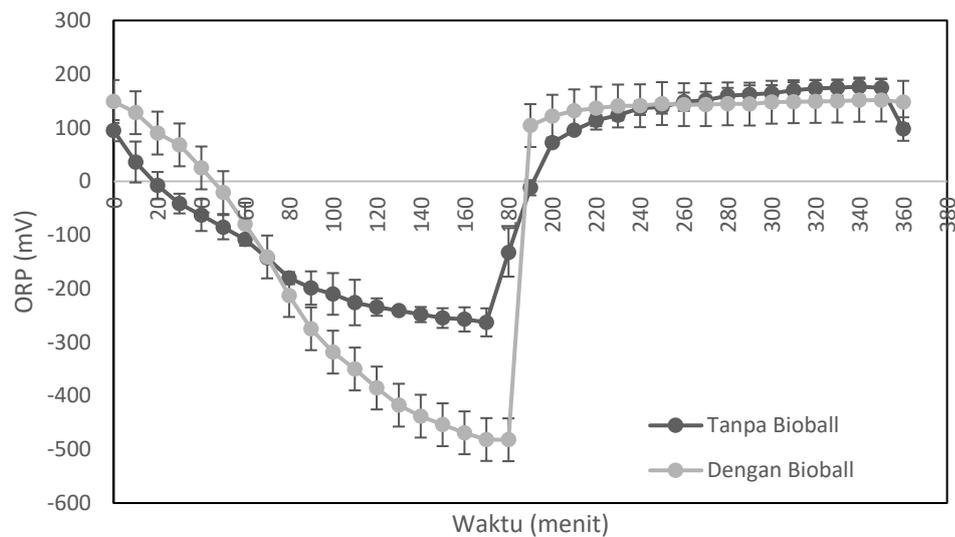


Gambar 10. Efisiensi Penyisihan Konsentrasi Warna

Penelitian dengan SBR dapat mengamati penyisihan konsentrasi warna limbah batik sintetis yang berbeda pada variasi media (lihat Gambar 10). Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Ananda et al., 2022) menunjukkan bahwa penyisihan warna pada pengolahan limbah cair batik sintetis dengan SBR tanpa ada media *bioball* sebesar 21,51% pada waktu proses selama 6 jam. Sama halnya dilakukan pada penelitian ini didapatkan hasil penyisihan warna 18% dan adanya penambahan *bioball* mampu menghasilkan penyisihan konsentrasi warna sebesar 29%. Sehingga dengan adanya bantuan *bioball* sebagai media *imobilisasi* atau tempat pelekatan bakteri dapat membantu kemampuan penghilangan warna pada limbah batik sintetis.

3.5. Evaluasi Nilai *Oxidation-Reduction Potential* (ORP)

Nilai ORP menunjukkan terjadinya reaksi yang terjadi dalam suatu sistem seperti adanya proses kimia untuk dapat mengukur kemampuan atau potensi air limbah pada saat terjadi reaksi biologis tertentu. Reaksi oksidasi-reduksi yang terjadi dan penting dalam sistem pengolahan air limbah meliputi nitrifikasi, denitrifikasi, penghilangan fosfor, produksi bau. ORP diukur dalam milivolt (mV) (McGuire et al., 2014).



Gambar 11. Nilai ORP Rata-Rata

Gambar 11 menunjukkan nilai rata-rata ORP dengan variasi tanpa *bioball* dan dengan *bioball*. Adanya hubungan antara reaksi biokimia dan nilai ORP dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hubungan Antara Reaksi Biokimia dan Nilai ORP

Reaksi Biokimia	ORP (mV)
Nitrifikasi	+100 hingga +350
Degradasi Cbod bebas O ₂	+50 hingga +250
Penghilangan P secara biological	+50 hingga +250
Denitrifikasi	+25 hingga -50
Pembentukan Sulfide H ₂ S	-50 hingga -250
Pembentukan asam	-100 hingga -250
Pembentukan metan	-175 hingga -400

Berdasarkan Tabel 4 dengan hasil nilai ORP *real time* menunjukkan terjadi reaksi biokimia yaitu pada kurva tanpa *bioball* nilai negatif hingga -263 pada saat tanpa aerasi dan saat aerasi naik menuju nilai positif hingga +177. Kemudian pada kurva dengan *bioball* nilai negatif hingga -482 pada saat aerasi dan naik menuju nilai positif hingga +152.

4. KESIMPULAN

Hasil evaluasi perbandingan kinerja *sequencing batch reactor* tanpa *bioball* dan dengan *bioball* menunjukkan bahwa penambahan media pelekatan bakteri yaitu *bioball* dapat memberikan efisiensi penyisihan konsentrasi warna sebesar 29 %, yang mana 11% lebih tinggi daripada efisiensi penyisihan warna pada reaktor tanpa media pelekatan bakteri yaitu 18%. Hasil efisiensi penyisihan konsentrasi COD dari masing-masing tidak terlalu signifikan, yaitu tanpa *bioball* dapat menyisihkan COD dengan efisiensi 86,3% dan untuk dengan *bioball* mampu menyisihkan COD dengan efisiensi 87%. Variasi media juga memengaruhi hasil pengendapan lumpur yang baik yang dapat ditunjukkan dengan nilai SVI sangat baik. Namun penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengetahui perbedaan pengaruh jumlah *bioball* untuk menghilangkan warna secara efektif.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada atas bantuan dana hibah penelitian sehingga penelitian ini dapat terlaksana. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Grup Riset Teknik Bioproses, Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada yang memberikan fasilitas untuk melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alattabi, A. W., Harris, C. B., Alkhaddar, R. M., Hashim, K. S., Ortoneda-Pedrola, M., & Phipps, D. (2017). Improving sludge settleability by introducing an innovative, two-stage settling sequencing batch reactor. *Journal of Water Process Engineering*, 207–216. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.11.004>
- Aliyuddin, A. & W. P. (2018). Pengolahan air buangan industri batik menggunakan bioreaktor hibrid bermedia *bioball*. *Ilmiah Teknik Lingkungan*, 8(2), 78–87.
- Ananda, D., Wintoko, J., & Budhijanto, W. (2022). Determination of processing time in aerobic granular sludge sequencing batch reactor for batik waste treatment.
- Apriyani, N. (2018). Industri batik: Kandungan limbah cair dan metode pengolahannya. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 3(1), 21–29. <https://doi.org/10.33084/mitl.v3i1.640>

- Daud, N. M., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Ismail, N. I., & Dhokhikah, Y. (2022). Integrated physical-biological treatment system for batik industry wastewater: A review on process selection. *Science of the Total Environment*, 819, 152931. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152931>
- Handayani, W., Kristijanto, A. I., & Hunga, A. I. R. (2018). Are natural dyes eco-friendly? A case study on water usage and wastewater characteristics of batik production by natural dyes application. *Sustainable Water Resources Management*, 4(4), 1011–1021. <https://doi.org/10.1007/s40899-018-0217-9>
- Jannah, I. N., & Muhimmatin, I. (2019). Pengelolaan limbah cair industri batik menggunakan mikroorganisme di Kecamatan Cluring Kabupaten Banyuwangi. *Warta Pengabdian*, 13(3), 106–115. <https://doi.org/10.19184/wrtp.v13i3.12262>
- Kementrian Perindustrian RI. (2021, Oktober 6). *Serap 200 ribu tenaga kerja, ekspor industri batik tembus USD 533 juta* [Press release]. <https://www.kemenperin.go.id/artikel/22830/Serap-200-Ribu-Tenaga-Kerja,-Ekspor-Industri-Batik-Tembus-USD-533-Juta>
- Manzoor, J., & Sharma, M. (2020). Impact of textile dyes on human health and environment. *Impact of Textile Dyes on Public Health and the Environment*, 162–169.
- McGuire, M. E., Chaefer, C., Richards, T., Backe, W. J., Field, J. A., Houtz, E., Sedlak, D. L., Guelfo, J. L., Wunsch, A., & Higgins, C. P. (2014). Evidence of remediation-induced alteration of subsurface poly-and perfluoroalkyl substance distribution at a former firefighter training area. *Environmental Science & Technology*, 48(12), 6644–6652.
- Muliasari, I. G. A. D., & Widiastuti. (2010). Daya dukung lingkungan terkait pengolahan limbah batik di kampung batik Giriloyo, Kabupaten Bantul, Yogyakarta. *Atrium*, 6(2), 131–139.
- Pujilestari, T. (2015). Review: Sumber dan pemanfaatan zat warna alam untuk keperluan industri. *Dinamika Kerajinan dan Batik: Majalah Ilmiah*, 32(2), 93–106.

- Sianita, D., & Nurchayati, I. S. (2015). Kajian pengolahan limbah cair industri batik, kombinasi aerob-anaerob dan penggunaan koagulan tawas. *Jurnal Teknik Kimia*, 4, 1–7.
- Sitanggang, P. Y. (2017). Pengolahan limbah tekstil dan batik di Indonesia. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(12), 1–10. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1133991>
- Solomon, D., Kiflie, Z., & Van Hulle, S. (2019). Kinetic investigation and optimization of a sequencing batch reactor for the treatment of textile wastewater. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 4(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s41204-019-0062-6>
- Susanty, A., Hartini, S., Puspitasari, D., & Arsiwi, P. (2015). Measuring efficiency of using resource in the production process of making stamped-batik: A DEA approach. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 6(5), 318–327. <https://doi.org/10.5901/mjss.2015.v6n5s2p318>