

## EVALUASI KECUKUPAN KAPASITAS IPAL UNTUK PROSES PRODUKSI KAIN BERMOTIF BATIK DI DESA PUNGSARI

Naufal Roihan Kamal<sup>1</sup>, Ida Nursanti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

Email: d600210211@student.ums.ac.id

### Abstrak

*Industri kain motif batik di Desa Pungsari, Kabupaten Sragen, merupakan pilar ekonomi lokal namun menghadapi tantangan lingkungan serius akibat ketidakcukupan kapasitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi secara kuantitatif kecukupan kapasitas IPAL tersebut dan merumuskan model solusi untuk mengurangi terbuangnya air limbah secara langsung ke lingkungan. Metode yang digunakan adalah pendekatan deskriptif-eksplanatif dengan pengumpulan data lapangan selama 10 hari dan pemodelan sistem menggunakan simulasi diskrit dengan perangkat lunak Anylogic. Hasil analisis menunjukkan bahwa dari total limbah harian sebesar 643 m<sup>3</sup>, IPAL saat ini dengan kapasitas 373 m<sup>3</sup> hanya mampu mengolah 58% dari total limbah. Hal ini menyebabkan 42% sisa limbah, atau sekitar 270 m<sup>3</sup> per hari, meluap ke lingkungan tanpa pengolahan maksimal dan mengonfirmasi adanya masalah kelebihan beban yang signifikan. Untuk mengatasi masalah tersebut, penelitian ini merumuskan tiga model perbaikan. Solusi pertama adalah perbaikan manajerial melalui penjadwalan pembuangan limbah untuk meratakan beban puncak tanpa biaya infrastruktur. Dua solusi lainnya berbasis infrastruktur dengan penambahan IPAL baru berkapasitas 800 m<sup>3</sup>/hari, yang mampu meningkatkan kapasitas total menjadi 1.173 m<sup>3</sup>/hari. Model infrastruktur tersebut diusulkan dalam dua konfigurasi yaitu sistem paralel untuk menjamin keandalan dan fleksibilitas operasional, serta sistem seri yang dirancang untuk menghasilkan kualitas air olahan yang lebih baik melalui pengolahan dua tahap.*

**Kata kunci:** IPAL, Kapasitas Limbah, Simulasi Sistem, Anylogic, Industri Batik

### Pendahuluan

Batik secara etimologis berasal dari gabungan kata Bahasa Jawa *amba* (menulis) dan *nitik* (membuat titik), merupakan seni menggoreskan lilin malam panas di atas kain untuk menciptakan motif (Trixie, 2020). Pada tanggal 2 Oktober 2009, UNESCO secara resmi mengakui batik sebagai Warisan Budaya Lisan dan Non-Bendawi milik Indonesia. Di kancah global, batik menunjukkan kinerja ekonomi yang impresif dengan nilai ekspor pada tahun 2022 mencapai US\$ 744,79 juta (Ningtyas dan Azmiyanti, 2025). Salah satu sentra utamanya, Desa Pungsari di Kecamatan Plupuh, dikenal sebagai pusat produksi yang menopang kesejahteraan warga setempat.

Namun, di balik signifikansi ekonomi ini, terdapat permasalahan lingkungan yang serius. Berdasarkan laporan dari masyarakat setempat, terdapat indikasi bahwa kapasitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang ada tidak mencukupi. Akibatnya, limbah cair yang berasal dari aktivitas produksi tidak melalui proses pengolahan yang tuntas dan berpotensi mencemari lingkungan. Limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi batik berpotensi menimbulkan dampak ekologis yang signifikan apabila dibuang tanpa pengolahan yang memadai, mencakup ancaman terhadap biota hewan dan tumbuhan serta risiko kontaminasi pada sumber daya air bersih (Rafidah dan Yunus, 2023).

Penelitian ini berfokus pada produksi kain motif batik (*printing*), mengingat keseluruhan populasi penelitian yang terdiri dari sembilan UKM di Desa Pungsari menerapkan metode produksi yang seragam. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi teknis terhadap masalah pengelolaan limbah industri kain bermotif batik di Desa Pungsari melalui pengukuran total volume limbah cair harian dan kapasitas pengolahan maksimal IPAL.

Kebanyakan penelitian terdahulu mengenai evaluasi IPAL cenderung menggunakan pendekatan perhitungan statis berbasis rata-rata debit harian. Kelemahan pendekatan konvensional tersebut adalah ketidakmampuannya menangkap fluktuasi ekstrem (*peak load*) yang terjadi pada jam-jam tertentu, yang seringkali menjadi penyebab utama kegagalan sistem pengolahan. Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dengan menerapkan pendekatan simulasi kejadian diskrit (*Discrete Event Simulation*) menggunakan perangkat lunak Anylogic. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi yang lebih dinamis dengan memperhitungkan variabilitas stokastik kedatangan limbah, sehingga hasil

evaluasi kapasitas dan rekomendasi solusi yang dihasilkan memiliki tingkat keandalan yang lebih tinggi dibandingkan perhitungan manual semata.

**Metode**

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan desain deskriptif-eksplanatif. Analisis dilakukan dengan membangun model simulasi sistem menggunakan perangkat lunak Anylogic. Simulasi merupakan sebuah pendekatan sistematis untuk menganalisis dan mencari solusi atas persoalan dunia nyata yang kompleks dan mengandung unsur ketidakpastian (Nurdian *et al.*, 2020).

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi selama 10 hari kerja di antara pukul 15.00 hingga 18.00 WIB, untuk menangkap momen ketika debit limbah mencapai titik maksimal. Data dianalisis menggunakan perangkat lunak EasyFit untuk mengidentifikasi distribusi probabilitas yang paling akurat dalam merepresentasikan pola kedatangan limbah. Distribusi statistik ini menjadi input utama untuk membangun model simulasi. Tahapan verifikasi dan validasi dilakukan untuk menjamin bahwa model simulasi yang dibangun dapat dipercaya dan secara akurat mewakili sistem pengelolaan limbah di dunia nyata, sesuai dengan prosedur yang dijelaskan oleh Sargent (2008).

**Hasil dan Pembahasan**

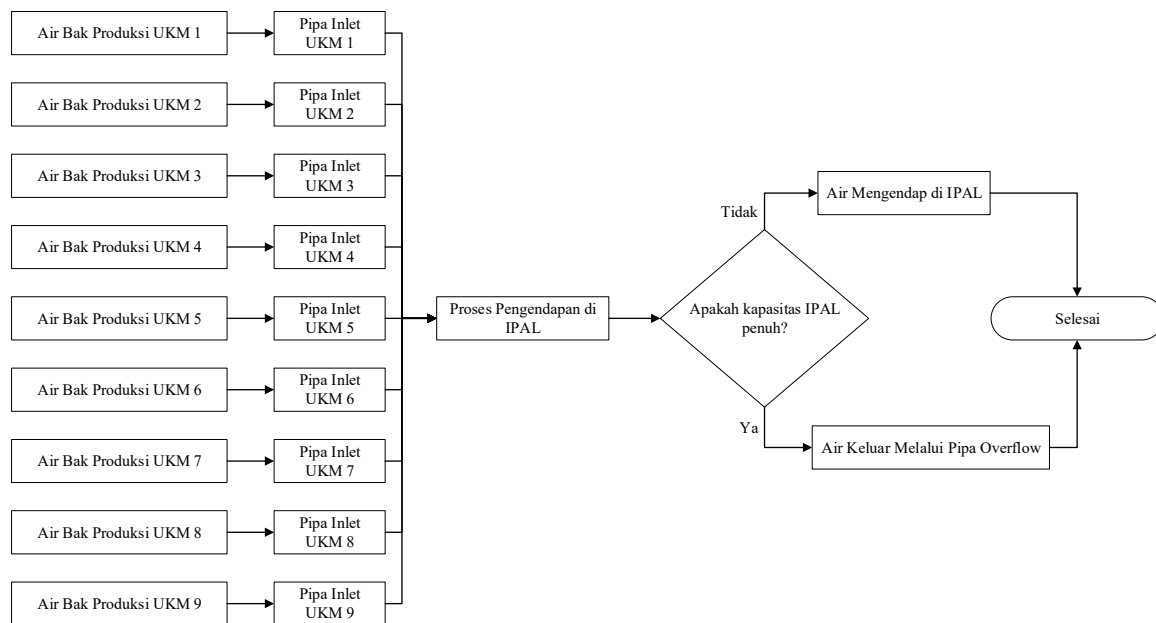
Analisis Distribusi Data Berdasarkan pengambilan data selama 10 hari dan analisis menggunakan perangkat lunak EasyFit, teridentifikasi model distribusi statistik yang merepresentasikan karakteristik variabel sistem. Rangkuman hasil analisis distribusi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Output* Distribusi Menggunakan EasyFit

Data	Jenis Distribusi
Volume Bak IPAL	Mean (373 m <sup>3</sup> )
Volume Bak Produksi UKM Sampel 1	Uniform (4.0619 m <sup>3</sup> , 8.7381 m <sup>3</sup> )
Volume Bak Produksi UKM Sampel 2	Uniform (98.914 m <sup>3</sup> , 113.29 m <sup>3</sup> )
Debit Air Keluar Bak IPAL	Log-Logistic 3P (1.64 l/s, 0.85 l/s, 4.47 l/s)
Debit Air Keluar Bak Produksi UKM Sampel 1	Beta (0.37 l/s, 0.34 l/s, 9.71 l/s, 11.11 l/s)
Debit Air Keluar Bak Produksi UKM Sampel 2	Beta (0.46 l/s, 0.59 l/s, 10.87 l/s, 13.39 l/s)

Dua variabel menunjukkan pola distribusi *uniform*, yang menandakan setiap nilai dalam rentang yang ditetapkan memiliki probabilitas kemunculan yang setara. Debit air keluar bak IPAL mengikuti distribusi *log-logistic* tiga parameter (3P), sedangkan debit air keluar bak produksi UKM mengikuti distribusi *Beta*.

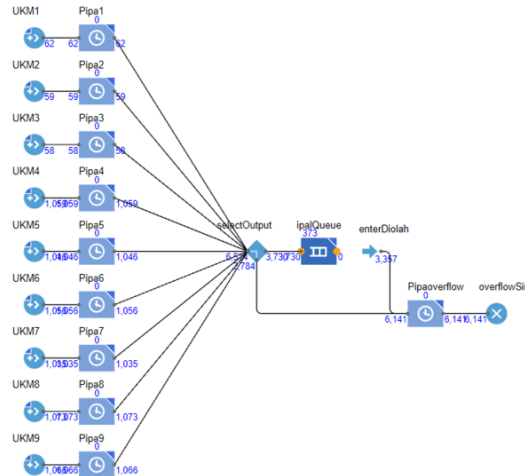
Perancangan Model Simulasi Dalam perancangan model simulasi, proses pengolahan air limbah disusun untuk merepresentasikan kondisi aktual yang terjadi di lapangan. Alur proses ini divisualisasikan dalam bentuk diagram alur guna menggambarkan secara jelas jalannya aliran limbah, titik-titik pengolahan, serta skenario yang terjadi apabila kapasitas pengolahan mencapai batas maksimal disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Model Konseptual

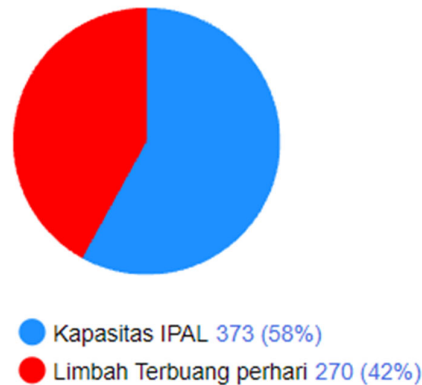
Sistem akan memeriksa apakah kapasitas IPAL masih cukup untuk menampung air limbah yang masuk. Jika kapasitas masih tersedia, air akan menjalani proses pengendapan fisik (sedimentasi). Namun, apabila kapasitas IPAL sudah penuh, maka air limbah akan langsung keluar melalui pipa *overflow*.

Hasil Simulasi Kondisi Eksisting Implementasi model simulasi dilakukan dengan memasukkan data aliran limbah dari sembilan UKM ke dalam model alur yang telah dirancang. Visualisasi simulasi sistem dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan Simulasi Sistem Eksisting pada Anylogic

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem IPAL komunal di Desa Pungsari mengalami kelebihan beban yang kritis (Gambar 3). Dari total limbah harian sebesar 643 m<sup>3</sup>, kapasitas maksimal IPAL hanya mampu mengolah 373 m<sup>3</sup>. Akibatnya, sebanyak 270 m<sup>3</sup> limbah tidak tertampung dan langsung terbuang ke lingkungan melalui pipa overflow tanpa melalui proses pengolahan yang memadai.



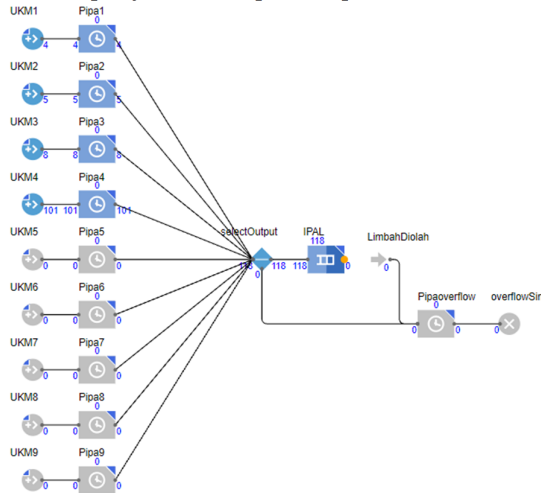
Gambar 3. Persentase Limbah Persentase Limbah Terolah dengan Luapan (*Overflow*)

Pembahasan Temuan luapan sebesar 42% (270 m<sup>3</sup>) ini mengindikasikan kegagalan sistemik yang serius. Jika dikaitkan dengan standar regulasi lingkungan, kondisi ini bertentangan dengan prinsip *Zero Discharge* yang sering ditekankan dalam pengelolaan limbah industri kecil. Hasil simulasi ini memperkuat argumen Rafidah dan Yunus (2023) bahwa tanpa pengolahan memadai, industri batik menjadi penyumbang polutan cair utama yang mengancam ekosistem sungai.

Berbeda dengan industri skala besar yang memiliki buffer tank memadai, UKM di Desa Pungsari memiliki keterbatasan lahan dan modal, sehingga opsi konvensional seringkali tidak layak. Oleh karena itu, kegagalan kapasitas ini bukan hanya masalah teknis volume, melainkan juga masalah manajemen beban. Hal ini menegaskan urgensi intervensi teknis yang tidak hanya menambah kapasitas fisik, tetapi juga rekayasa sistem antrean limbah sebagaimana diusulkan dalam model perbaikan penelitian ini.

1. Usulan Perbaikan Model 1 (Penjadwalan Manajerial)

Sebagai respons awal terhadap permasalahan kelebihan kapasitas, Model 1 diusulkan dengan pendekatan manajerial tanpa pembangunan infrastruktur baru. Pendekatan ini merevisi sistem pembuangan limbah, di mana seluruh UKM dibagi menjadi dua kelompok jadwal: sesi pertama pukul 15.00-17.00 dan sesi kedua pukul 17.00-19.00

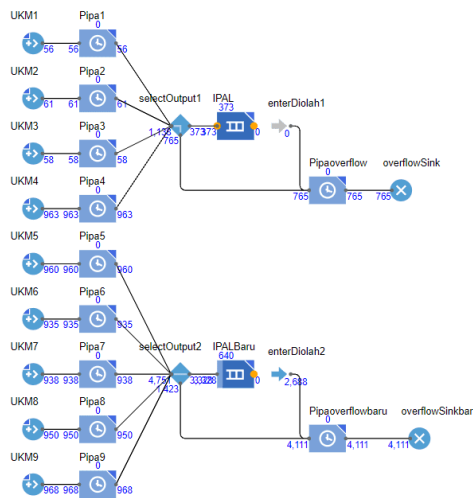


Gambar 4. Skema Usulan Perbaikan Model 1 (Penjadwalan)

Tujuannya adalah mencegah lonjakan volume limbah secara bersamaan. Meskipun efisien dari sisi biaya, keberhasilan model ini sangat bergantung pada tingkat kepatuhan setiap pelaku UKM.

2. Usulan Perbaikan Model 2 Penambahan IPAL Paralel

Model 2 menyajikan solusi berbasis infrastruktur dengan pembangunan satu unit IPAL baru berkapasitas 800 m<sup>3</sup> yang beroperasi secara paralel dengan IPAL eksisting. UKM akan dibagi menjadi dua kelompok besar dimana masing-masing kelompok dilayani oleh satu IPAL.

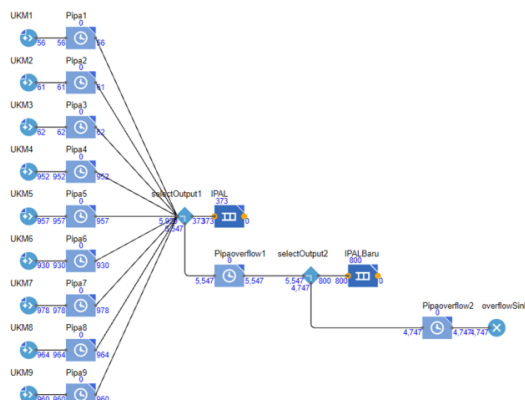


Gambar 5. Skema Usulan Perbaikan Model 2 (Sistem Paralel)

Kelebihan utama model ini adalah peningkatan kapasitas pengolahan secara drastis serta fleksibilitas operasional penuh bagi UKM untuk membuang limbah kapan saja tanpa terikat jadwal.

3. Usulan Perbaikan Model 3 Penambahan IPAL Seri

Model 3 mengusulkan penambahan satu unit IPAL baru (800 m<sup>3</sup>) yang dirangkai secara seri. Air limbah akan melalui proses pengolahan dua tahap, dimana hasil olahan dari IPAL pertama dialirkan sebagai masukan untuk IPAL kedua.



Gambar 6. Skema Usulan Perbaikan Model 3 (Sistem Seri)

Keunggulan utama konfigurasi ini adalah potensi menghasilkan kualitas air olahan akhir yang jauh lebih bersih dibandingkan sistem satu tahap, meskipun memiliki kerentanan sistem jika salah satu unit mengalami kerusakan.

### Kesimpulan

Penelitian ini mengonfirmasi melalui simulasi dinamis bahwa IPAL komunal di Desa Pungsari hanya mampu mengolah 58% dari total beban limbah harian, menyebabkan potensi pencemaran lingkungan yang signifikan. Tiga model solusi telah dirumuskan: (1) Perbaikan manajerial melalui penjadwalan yang hemat biaya namun bergantung pada kedisiplinan; (2) Penambahan IPAL sistem paralel yang menawarkan keandalan operasional tertinggi; dan (3) Penambahan IPAL sistem seri yang memprioritaskan kualitas hasil olahan. Pemilihan model terbaik bergantung pada prioritas pemangku kepentingan antara batasan biaya, kebutuhan reliabilitas, atau standar kualitas lingkungan yang ingin dicapai.

### Daftar Pustaka

- Aulia, A.P., Arwani, A. dan Hartono, B.S. (2023) 'Upaya Pelestarian Batik Tulis Yang Mulai Tergantikan Batik Printing Di Buaran Pekalongan', *Jurnal Sahmiyya*, 2(1). <https://e-journal.uingusdur.ac.id/sahmiyya/article/view/1832>
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Sragen. (2016). *Jumlah Perusahaan Industri, Investasi, Kapasitas dan Produksi Di Kabupaten Sragen 2015*. Sragen: BPS Kabupaten Sragen. <https://sragenkab.bps.go.id/id/statistics-table/1/MjU4IzE=/jumlah-perusahaan-industri-investasi-kapasitas-dan-produksi-di-kabupaten-sragen-2015.html>
- Fairuzahira, S., Rukmi, W. dan Sari, K. (2020) 'Elemen Pembentuk Permukiman Tradisional Kampung Naga', *Tata Kota dan Daerah*, 12(1), pp. 29–38. <https://doi.org/10.21776/ub.takoda.2020.012.01.3>
- Fridayanthie, E.W., Haryanto, H. dan Tsabitah, T. (2021) 'Penerapan Metode Prototype Pada Perancangan Sistem Informasi Penggajian Karyawan (Persis Gawan) Berbasis Web', *Paradigma - Jurnal Komputer dan Informatika*, 23(2), pp. 151–157. <https://doi.org/10.31294/p.v23i2.10998>
- Hidayati, Z., Noviana, M. dan Gunawan, A. (2021) 'Perencanaan Pusat Batik Khas Kaltim di Kawasan Pulau Kumala Kukar - Penekanan pada Utilitas', *Jurnal Kreatif: Desain Produk Industri dan Arsitektur*, 9(2), pp. 136–145. <https://ejurnal.polnes.ac.id/index.php/kreatif/article/view/187>
- Kinanthi, A. et al. (2023) 'Water footprint of batik-making process: a case study on small enterprise in Laweyan, Surakarta City, Indonesia', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1267(1), 012053. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1267/1/012053>
- Marjono, J.N. dan Widyastuti, T. (2025) 'Pengembangan Batik Kombinasi Motif Flora Dengan Teknik Cap dan Tulis Untuk Jarit', *HASTAGINA: Jurnal Kriya dan Industri Kreatif*, 5(1), pp. 25–34. <https://jurnal2.isi-dps.ac.id/index.php/hastagina/article/view/831>
- Ningtyas, F.Y.P.U. dan Azmiyanti, R. (2025) 'Analisis Forecasting Tren Ekspor Batik Indonesia: Prediksi Penurunan Pendapatan Di Amerika & Eropa', *Jurnal Sistem Informasi Dan Bisnis Cerdas*, 18(2), pp. 172–185. <https://sibc.upnjatim.ac.id/index.php/sibc/article/view/324>
- Nurdian, R.A. et al. (2020) 'Pemodelan simulasi produksi bakso dan sistem distribusi', *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 8(1), pp. 59–64. <https://doi.org/10.30869/jtech.v8i1.413>
- Rafidah dan Yunus, M. (2023) 'Analisis Industri Batik dalam Pengelolaan Limbah dalam Upaya Sustainable Development Goals (SDGs) Di Provinsi Jambi', *Media Bina Ilmiah*, 17(8), pp. 2041–2054. <https://binapatria.id/index.php/MBI/article/view/343>

- Rais, N.A.R. dan Efendi, T.F. (2020) 'Perancangan Sistem Informasi Batik Di Toko Andini Plupuh', Prosiding Seminar Nasional & Call For Paper STIE AAS, 3(1), pp. 169–176. <https://prosiding.stie-aas.ac.id/index.php/prosenas/article/view/57>
- Rus, I., Neu, H. dan Münch, J. (2014) 'A Systematic Methodology for Developing Discrete Event Simulation Models of Software Development Processes', International Workshop on Software Process Simulation (ProSim). <http://arxiv.org/abs/1403.3559>
- Sargent, R.G. (2008) 'Verification and Validation of Simulation Models', Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, pp. 157–169. <https://www.informs-sim.org/wsc08papers/018.pdf>
- Trixie, A.A. (2020) 'Filosofi Motif Batik Sebagai Identitas Bangsa Indonesia', FOLIO: Jurnal Seni dan Desain, 1(1), pp. 1–9. <https://journal.uc.ac.id/index.php/FOLIO/article/view/1380>.