

Penghilangan Lilin dari Air Limbah Batik Menggunakan Tangki *Baffle* Hibrida Inovatif

Ahmad Sidik

Teknik Material Insitut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No. 10, Coblong Bandung, 40132, Jawa Barat,
email : 13719038@mahasiswa.itb.ac.id

Abstrak: Industri tekstil merupakan salah satu konsumen air terbesar dan penghasil limbah berbahaya. Karena penggunaan lilin sebagai resistensi fisik dalam prosedur industri tekstil, perlakuan pra-pemrosesan yang efisien diperlukan sebelum proses pemrosesan limbah konvensional. Metode konvensional penghilangan lilin mengalami efisiensi per jam kurang dari 50%. Studi ini mengusulkan desain berkelanjutan dan aplikasi tangki pemisahan baffle dengan nano sodium silikat, sebagai bahan kimia kunci, untuk menghilangkan lilin dari limbah tekstil. Tangki baffle ini dilengkapi dengan delapan lapisan baffle dengan ketinggian berbeda, mencakup tiga zona pemisahan. Berbagai parameter desain dan persamaan terkait untuk tangki baffle, telah dipelajari. Berdasarkan hasilnya, kondisi operasional optimum telah ditemukan dan diterapkan untuk dua set limbah tekstil yang disintesis yang mengandung jumlah lilin, pewarna, dan nano sodium silikat yang konstan tetapi dengan pewarna reaktif yang berbeda. Hasilnya menunjukkan efisiensi penghilangan lilin total oleh tangki baffle pada waktu pra-pemrosesan optimum (satu jam) lebih dari 95%, sementara metode konvensional mencapai kurang dari 89% pada waktu operasional optimum (delapan jam) untuk kedua set data. Efisiensi penghilangan bahan kimia lainnya (seperti sodium-silikat) selama pra-pemrosesan berada dalam kisaran 29–32,4% dan 12,5–13,6% untuk set satu dan dua, secara berturut-turut.

Kata kunci: Air limbah, Penghilangan lilin, Pra-pemrosesan; Perlakuan fisik; Tangki baffle, Tekstil

Pendahuluan

Industri dan pertumbuhan penduduk yang cepat telah meningkatkan konsumsi air, yang berdampak pada sistem sosio-ekologis di seluruh dunia (Chen et al., 2016). Industri menghasilkan limbah, yang dianggap sebagai jenis pencemaran lingkungan yang signifikan (Rashidi et al., 2016). Tekstil adalah salah satu industri yang menghasilkan limbah paling banyak dan konsumen air terbesar (Apollo et al., 2014; Sahinkaya et al., 2017). Industri Batik, yang merupakan industri tekstil paling lokal di Asia Tenggara, bertanggung jawab atas perkembangan sosial dan ekonomi lokal (Hairuddin et al., 2012; Rashidi et al., 2012).

Industri batik membutuhkan banyak air, jadi limbah yang berlebihan tidak dapat dihindari (Birgani et al., 2016). Penelitian menunjukkan bahwa mungkin ada cara baru untuk mengurangi produksi limbah ini.

Pabrik tekstil menggunakan berbagai jenis campuran parafin dan resin, yang juga dikenal sebagai getah pohon, sebagai zat desain. Minyak dan lilin yang tinggi adalah bagian dari limbah yang dihasilkan (Kota et al., 2012). Oleh karena itu, limbah dari pabrik tekstil Batik mengandung parafin dan resin selain kompleks pewarna, garam, dan bahan kimia lainnya (Almaz'an-Sánchez et al., 2016). Untuk menghilangkan lilin dan minyak, proses pra-pengolahan yang baik diperlukan sebelum penggunaan pengolahan limbah konvensional utama. Selama beberapa tahun terakhir, peneliti telah berfokus pada pencarian perlakuan pra-pengolahan.

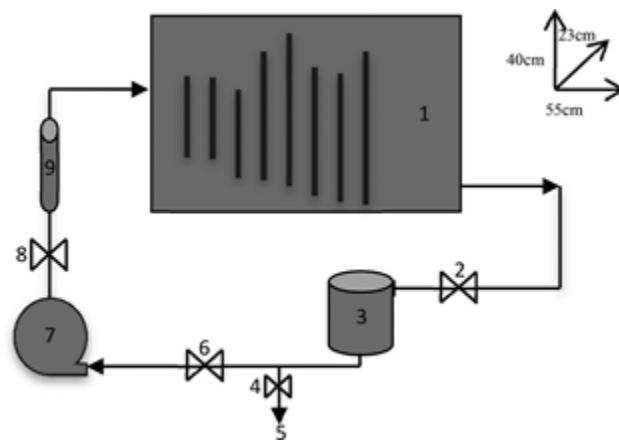
Di antara semua teknik pengolahan limbah standar, filtrasi membran telah mencuat dalam beberapa dekade terakhir untuk pengolahan air dan limbah (Lau & Ismail, 2009; Pendse et al., 2019). Namun, keberadaan lilin dan minyak dapat mempengaruhi efektivitas pengolahan berbasis membran karena faktor seperti penurunan fluks dan penumpukan kotoran saat digunakan untuk pengolahan limbah dalam limbah industri seperti industri tekstil (Padaki et al., 2015; Shokrkar et al., 2012). Meskipun berbagai penelitian telah mempertimbangkan penggunaan sorben serat alami sebagai metode penghilangan lilin yang efektif dan ramah lingkungan yang berurusan dengan berbagai jenis minyak dalam air limbah (Liu et al., 2014; Xue et al., 2013), peneliti yang lebih sedikit telah menjelaskan lilin parafin dan derivatifnya dalam limbah pabrik Batik.

Karena keterbatasan ruang, peralatan, dan pengetahuan tentang teknik pengolahan baru di pabrik batik lokal, penelitian ini dilakukan untuk mengeksplorasi potensi tangki baffle sebagai teknik yang efektif dan ramah pengguna. Metode tangki baffle yang diusulkan telah terbukti dapat menghilangkan partikel lilin dari limbah cair secara efisien dan tanpa persyaratan waktu, ruang, dan energi yang merugikan, yang merupakan faktor-faktor mendasar untuk memenuhi standar keberlanjutan di pabrik-pabrik lokal. Selain itu, desain tangki baffle meningkatkan turbulensi aliran (limbah) dan meningkatkan transfer partikel lilin ke dalam baffle. Prinsip fenomena transportasi ini adalah dasar perancangan tangki

baffle sebagai pra-pemrosesan untuk proses pengolahan limbah tekstil yang dapat menjadi pengganti yang sesuai untuk metode sebelumnya.

Metode

Penghapusan lilin dari air limbah tekstil menggunakan tangki penyekat hibrida untuk mensimulasikan limbah aktual industri batik, kami menggunakan tiga komponen kimia utama dalam proses batik, yang meliputi: pewarna reaktif serat (umumnya digunakan dalam industri tekstil), natrium silikat (pengatur alkali untuk proses pewarnaan dan pengikat pewarna), serta lilin parafin dan resin (resistensi fisik untuk desain motif) (Rashidi et al., 2012).



Gambar 1. Skema Peralatan Pra-pemrosesan: 1) Tangki baffle dengan lapisan baffle 2, 4, dan 6; 3) tangki pencampuran; 5) titik pengambilan sampel; 7) pompa; 8) katup pengatur; 9) alat pengukur aliran.

Penelitian ini menyelidiki kemampuan lapisan berbentuk baffle dalam tangki pemisahan untuk proses pra-pengolahan fisik penghilangan lilin. Untuk tujuan ini, sebuah tangki pemisahan dengan bak berbentuk persegi panjang, yang dilengkapi dengan delapan posisi sejajar untuk pelat baffle pada tinggi yang berbeda, dirancang dan dibuat (Gambar 1). Aplikasi utama dari tangki baffle adalah mengapungkan tetesan lilin dalam fase cair dan dengan cepat mengubahnya dari fase cair menjadi padat melalui dampak baffle dalam jangka waktu yang singkat.

Sebuah pompa elektromagnetik digunakan untuk menyediakan laju aliran dan tekanan dalam tangki baffle. Alat pengukur aliran dipasang untuk mengelola laju aliran konstan air limbah simulasi berdasarkan kondisi uji yang ditentukan dalam setiap siklus pengolahan. Proses pemisahan setiap siklus pengolahan diatur untuk berjalan pada laju aliran, suhu, dan waktu masing-masing 570 L/jam, 70 °C, dan 1 jam. Setiap jalankan pra-pemrosesan dilakukan dalam volume tangki optimal sebesar 30 L.

Efisiensi penghilangan lilin (R %) dari setiap jalankan dihitung menggunakan Persamaan:

$$R\% = \left(1 - \frac{W_R}{W_F}\right) \times 100\%$$

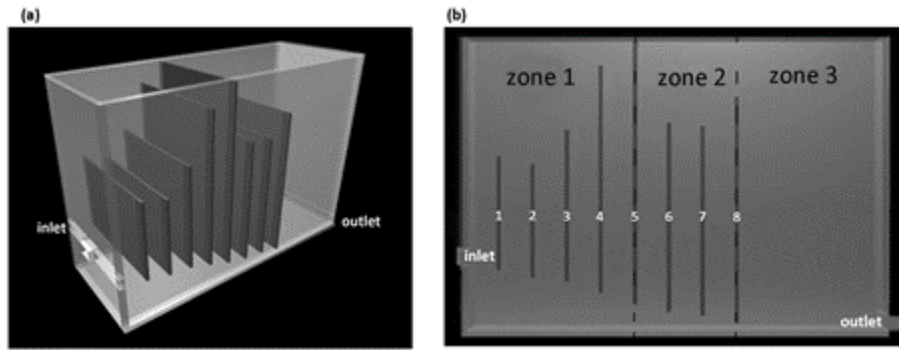
Di mana W_R dan W_F adalah lilin yang dihilangkan dan lilin umpan, masing-masing. Efektivitas pewarna dan natrium silikat terhadap efisiensi penolakan dan penghilangan lilin diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang terlihat (325–750 nm). Gambar tangki baffle dan permukaan lapisan diambil dengan menggunakan kamera digital 24,6 megapiksel Nikon DSLR D5200 dengan zoom X1 pada jarak 30 cm dari objek.

Efisiensi penghilangan natrium silikat diuji dalam setiap eksperimen sesuai dengan reagen uji silikat (asam silicic), kurva absorpsi terkait ditunjukkan dan dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis

Pembahasan

Desain Tanki *Baffle*

Tangki baffle yang diusulkan mencakup delapan tinggi yang berbeda. *Baffle* plexiglas membagi tangki menjadi tiga zona pemisahan berbeda berdasarkan ukuran tetesan dan partikel. Plexiglas digunakan dalam proyek ini karena transparansinya dan kekuatan fisiko-kimianya dibandingkan dengan kaca dan baja tahan karat. Diagram skematis dari tangki baffle yang diusulkan direpresentasikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Desain tanki *baffle*

Untuk mendapatkan efisiensi optimum selama proses pengolahan air limbah, lima faktor penting yang diperlukan adalah a) Ukuran tetesan lilin meleleh; b) Energi kinetik dan termal tetesan lilin; c) Tegangan permukaan tetesan lilin; d) Sudut kontak dinamis dengan permukaan baffle; dan e) Waktu operasional (Hodge & Rousseau, 2003).

Dua faktor utama memengaruhi proses penghilangan lilin koalesensi dalam pengolahan air limbah batik dengan menggunakan baffle: dampak area pendinginan dan efek tumbukan. Metode penghilangan lilin konvensional utama dalam industri tekstil, khususnya industri batik, adalah pendinginan dan penyapuan (Rashidi et al., 2012). Teknik ini mengikuti hukum termodinamika yang sesuai dengan perubahan fase media (Gaskell & Laughlin, 2017). Ini memerlukan waktu pendinginan dan pemisahan yang lama, bergantung pada kondisi ambien. Namun, keberadaan baffle meningkatkan area tetesan lilin dan tabrakan, meningkatkan siklus pendinginan dan menyebabkan efisiensi yang lebih tinggi dalam pembentukan lilin padat di lapisan permukaan atas dalam waktu pemrosesan yang lebih singkat.

Lapisan lilin yang terbentuk beralih dari fase cair ke fase padat karena periode siklus pra-pemrosesan yang terbatas (60 menit) dan perpindahan panas antara lapisan lilin cair dan aliran udara di atas. Pemindahan panas antara tubuh baffle tangki Plexiglas (Polimetil metakrilat—PMMA) dan lingkungan eksternal juga dapat meningkatkan perubahan fase lapisan lilin, menghasilkan efisiensi penghilangan lilin yang lebih tinggi pada permukaan internal tangki baffle.

Nilai persentase pembentukan lilin padat pada permukaan dalam set 1. Nilai efisiensi penghilangan lilin di zona pemisahan pertama berkisar antara 63,9% hingga 66,5% dalam semua sampel air limbah yang disimulasikan. Ini dapat dijelaskan berdasarkan area tabrakan yang lebih tinggi dan ukuran dan gerak tetesan yang lebih besar di zona pemisahan ini, seperti yang dibahas sebelumnya. Nilai efisiensi penghilangan lilin di zona pemisahan kedua berkisar antara 25% hingga 25,7% karena ukuran tetesan lilin yang sedang. Namun, sementara efek zona terakhir pada pembentukan lilin permukaan tidak signifikan (kurang dari 3,3%), tetesan lilin terkecil dapat mengendapkan waktu dan ruang yang cukup; tidak ada aliran spiral melingkar karena tidak ada lapisan baffle yang disediakan.

Zona ketiga tidak hanya mengendapkan aliran tetesan terkecil tetapi juga dapat menyerap dan memisahkan tetesan ini pada akhir setiap siklus pra-pemrosesan. Efisiensi penghilangan lilin dari zona ini tidak se tinggi dibandingkan dengan zona pemisahan lainnya.

Rentang nilai efisiensi penghilangan lilin di zona 1 antara 61,1% dan 63,3%, terkait dengan pewarna reaktif kuning dan biru laut, masing-masing. Efisiensi penghilangan lilin di zona 2 dan 3 adalah 26,8% hingga 27,5% dan kurang dari 3,3%, secara berturut-turut. Hasil ini mendukung hasil dari set 1.

Meskipun natrium silikat menunjukkan efek negatif pada siklus hidup air, faktor-faktor air, kimia, dan lingkungan, natrium silikat dapat berpengaruh positif pada efisiensi penghilangan lilin. Fenomena ini terjadi karena struktur kimianya dan reaksi terkait di bawah kondisi siklus pra-pemrosesan tertentu (difusi udara, suhu, cahaya, dan volume komponen kimia). Molekul parafin yang retak dapat bereaksi dengan kelompok reaktif dalam pewarna (Cl dan alkil sulfat) dalam kondisi pemrosesan ketika ada cahaya matahari. Akibatnya, molekul CO₂ dilepaskan dari reaksi antara molekul oksigen yang dihasilkan dan molekul karbon bebas lilin parafin. Molekul CO₂ yang dilepaskan tidak hanya meningkatkan flotasi lilin tetapi juga mempengaruhi efisiensi penghilangan lilin melalui reaksi dengan molekul natrium silikat nano (Kim et al., 2014). SiO₂ yang dihasilkan memainkan peran utama sebagai katalisator untuk meretakkan molekul lilin parafin.

SiO₂ adalah basis yang sesuai untuk berperan sebagai katalisator dalam isomerisasi dan hidrokracking hidrokarbon rantai panjang seperti lilin parafin (Calemma et al., 2000). Karena area permukaan spesifik SiO₂ yang tinggi, mereka menyediakan area yang cukup untuk adsorpsi sementara hidrokarbon. Katalis yang paling banyak digunakan dalam prosedur patah rantai hidrokarbon rantai panjang didasarkan pada komponen SiO₂ (Delmon et al., 1997; Mitsios et al., 2009).

Lilin parafin yang terbentuk oleh hidrokarbon rantai panjang menunjukkan afinitas yang besar untuk diadsorpsi oleh komponen SiO₂ melalui ikatan Van Der Waals yang menyediakan waktu yang cukup untuk proses hidrokracking (Kissin, 2001). Hidrokracking adalah proses pemecahan molekul rantai panjang menjadi molekul yang pendek dan ringan dalam keberadaan hidrogen dan faktor reaktif yang disediakan oleh kelompok reaktif pewarna dalam penelitian ini (Munir et al., 2018; Nguyen et al., 2016; Robinson & Dolbear, 2017). Seperti yang dibahas sebelumnya, ada difusi udara yang terus-menerus di tangki baffle karena perbedaan tinggi antara aliran masuk dan keluar dalam tangki pencampuran. Difusi udara dapat menyediakan molekul hidrogen untuk hidrokracking molekul lilin yang diadsorpsi oleh permukaan SiO₂ dalam keberadaan kelompok reaktif molekul pewarna.

Pra-pemrosesan tangki baffle dalam keberadaan natrium silikat nano dalam air limbah batik yang disimulasikan tidak hanya meningkatkan efisiensi penghilangan lilin tetapi juga mengurangi volume natrium silikat yang ada dalam setiap siklus pra-pemrosesan. Hasil menunjukkan bahwa tingkat penghilangan natrium silikat nano pada set 1 lebih tinggi dibandingkan set 2. Ini disebabkan oleh konsentrasi lilin dan natrium-silikat yang lebih rendah menyederhanakan reaksi dengan molekul CO₂ dan oksigen. Selain itu, fase gas mengarah pada peningkatan flotasi dan gerakan berdasarkan konsentrasi media yang lebih rendah. Oleh karena itu, efek natrium silikat nano dapat diamati dalam periode waktu yang lebih singkat karena area permukaan operasional yang lebih reaktif.

Keberadaan pewarna yang bereaksi dengan kelompok halogen, alkuna sulfat, dan vinil menyebabkan flotasi lilin yang lebih tinggi dan efisiensi penghilangan (Amour et

al., 2016). Reaksi antara natrium silikat dan asam hidroklorida yang dihasilkan, menghasilkan lebih banyak silika yang menyebabkan lebih banyak karbon bebas dan flotasi partikel lilin yang lebih tinggi. Hasil dari berbagai zona dalam semua sampel air limbah simulasi ditambah dengan nilai efisiensi penghilangan lilin total terkait, menunjukkan efek minor pada proses pengolahan air limbah batik. Meskipun beberapa molekul pewarna yang terperangkap dapat dihilangkan dari larutan pewarna melalui teknik pra-pemrosesan tangki pemisah baffle, hampir semua pewarna dalam sampel air limbah tidak dapat berikatan dengan partikel lilin dan oleh karena itu tetap berada dalam fase air. Oleh karena itu, efisiensi penghilangan pewarna dari sampel air limbah tangki baffle tidak signifikan. Oleh karena itu, ini merupakan verifikasi untuk teknik pra-pemrosesan fisik murni melalui penggunaan tangki pemisah baffle. Selain itu, konsentrasi lain yang diperoleh dari parameter kimia dan lingkungan dari sampel air limbah yang telah diolah oleh tangki pemisah baffle (lihat Rashidi et al., 2016), juga mendukung hasil saat ini dalam hal efisiensi penghilangan pewarna dan natrium silikat. Selanjutnya, konsentrasi yang tersisa dari natrium silikat nano dalam sampel air limbah dapat dihilangkan melalui penerapan perlakuan konvensional.

Kesimpulan

Selama penelitian ini, sebuah tangki baffle dirancang untuk menghilangkan lilin dari air limbah batik. Tangki baffle ini mengandung campuran silikat yang terbukti memiliki dampak signifikan pada efisiensi penghilangan lilin. Hal ini disebabkan oleh reaksi dengan radikal karbon dalam lilin parafin dan kelompok aktif pewarna reaktif, yang pada gilirannya menghasilkan generasi CO₂ selama setiap siklus pra-pemrosesan. Namun, efektivitas pewarna reaktif tidak signifikan selama proses penghilangan lilin. Fenomena ini menunjukkan bahwa penghilangan lilin dalam tangki baffle adalah proses yang bersifat dinamis karena sifat fisik sistem. Selain itu, makalah ini menyimpulkan bahwa proses penghilangan lilin air limbah batik dengan menggunakan tangki baffle inovatif dan sifat aktif nano natrium silikat, menghasilkan tingkat efisiensi yang lebih tinggi sambil secara signifikan mengurangi waktu pemrosesan operasional. Pada akhirnya, hasil ini

mendukung pendekatan yang lebih efisien dan berkelanjutan terhadap implementasi pengolahan air limbah tekstil menggunakan sistem tangki baffle yang diusulkan.

Daftar Pustaka

- Almazán-Sánchez, P. T., Linares-Hernández, I., Solache-Ríos, M. J., & Martínez-Miranda, V. (2016). Textile wastewater treatment using iron-modified clay and copper-modified carbon in batch and column systems. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227(4), 100. doi:10.1007/s11270-016-2801-7
- Apollo, S., Onyango, M. S., & Ochieng, A. (2014). Integrated UV photodegradation and anaerobic digestion of textile dye for efficient biogas production using zeolite. *Chemical Engineering Journal*, 245, 241–247. doi:10.1016/j.cej.2014.02.027
- Batchelor, C. K., & Batchelor, G. (1967). *An introduction to fluid dynamics*. Cambridge University Press.
- Birgani, P. M., Ranjbar, N., Abdullah, R. C., Wong, K. T., Lee, G., Ibrahim, S., ... Jang, M. (2016). An efficient and economical treatment for batik textile wastewater containing high levels of silicate and organic pollutants using a sequential process of acidification, magnesium oxide, and palm shell-based activated carbon application. *Journal of Environmental Management*, 184, 229–239. doi:10.1016/j.jenvman.2016.09.066
- Boyson, T., & Pashley, R. (2007). A study of oil droplet coalescence. *Journal of Colloid and Interface Science*, 316(1), 59–65. doi:10.1016/j.jcis.2007.08.039
- Cheryan, M., & Rajagopalan, N. (1998). Membrane processing of oily streams. *Wastewater treatment and waste reduction. Journal of Membrane Science*, 151(1), 13–28. doi:10.1016/S0376-7388(98)00190-2
- Delmon, B., Grange, P., & Froment, G. (1997). *Hydrotreatment and hydrocracking of oil fractions*. Elsevier.

- Doering, C. R., & Gibbon, J. D. (1995). *Applied analysis of the Navier- Stokes equations*. Cambridge University Press.
- Kim, K.-M., Heo, Y.-S., Kang, S.-P., & Lee, J. (2014). Effect of sodium silicate- and ethyl silicate-based nano-silica on pore structure of cement composites. *Cement and Concrete Composites*, 49, 84–91. doi:10.1016/j.cemconcomp.2013.12.009
- Kissin, Y. V. (2001). Chemical mechanisms of catalytic cracking over solid acidic catalysts: Alkanes and alkenes. *Catalysis Reviews*, 43(1–2), 85–146. doi:10.1081/CR-100104387
- Lau, W.-J., & Ismail, A. (2009). Polymeric nanofiltration membranes for textile dye wastewater treatment: Preparation, performance evaluation, transport modelling, and fouling control—a review. *Desalination*, 245(1–3), 321–348. doi:10.1016/j.desal.2007.12.058
- Rashidi, H., Sulaiman, N. N., & Hashim, N. (2012). Batik industry synthetic wastewater treatment using nanofiltration membrane. *Procedia Engineering*, 44, 2010–2012. doi:10.1016/j.proeng.2012.09.025
- Rashidi, H. R., N., Sulaiman, N. M., Hashim, N. A., & Che Hassan, C. R. (2012). Synthetic batik wastewater pretreatment progress by using physical treatment. *Advanced Materials Research*, 627, 394–398. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.627.394
- Schuster, D. (1996). *Encyclopedia of emulsion technology*. CRC Press. Shokrkar, H., Salahi, A., Kasiri, N., & Mohammadi, T. (2012).