JURNAL DEVICE, VOL. 15 NO 1, Mei 2025, 81-88
ISSN: 0216-9185 | eISSN: 2746-8984

TRANSFORMASI SISTEM FILTRASI BLOWDOWN: PENDEKATAN BACKWASH UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DAN DAYA TAHAN

Triani Aulya Fitri [1)], Ahmad Syahrul Mubarok [2)]

[1,2)] Politeknik Industri Petrokimia Banten
Email : triani.fitri@poltek-petrokimia.ac.id [1)], ahmadsyahrulmubarokk@gmail.com [2)]

ABSTRAK

Proses filtrasi pada sistem *blowdown* berfungsi untuk memisahkan air treated dari partikel halus polimer yang dihasilkan setelah proses pengeringan pada *dryer scrubber* (T-502). Sistem filtrasi yang ada saat ini menghadapi permasalahan seperti konsumsi air baku tinggi, efisiensi rendah akibat pembersihan filter manual, interval perawatan pendek, dan downtime signifikan, yang berdampak pada biaya produksi dan waktu henti. Penelitian ini bertujuan merancang sistem pemisahan partikel halus berbasis teknologi backwash yang mengintegrasikan pre-filter dan Cartridge Filter dalam satu unit efisien. Pendekatan menggunakan pendekatan kualitatif dan eksperimental dengan data diperoleh melalui observasi langsung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi backwash dapat meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi konsumsi air baku sebesar 15%, memperpanjang interval perawatan hingga 30%, dan mengurangi downtime sebesar 20%.

.

Kata Kunci : Filtrasi Blowdown, Teknologi Backwash, Pre-filter, Cartridge Filter, Efisiensi Operasional, Downtime, Konsumsi Air Baku

ABSTRACT

This study proposes an improved blowdown filtration system to separate treated water from fine polymer particles post-drying. Existing systems suffer from high raw water usage, manual filter cleaning, frequent maintenance, and significant downtime. A backwash-based solution integrating pre-filter and cartridge filter was designed using a qualitative and experimental approach. Results show a 15% reduction in water consumption, 30% longer maintenance intervals, and 20% less downtime. The system enhances operational efficiency and supports resource sustainability.

Keywords: Blowdown Filtration, Backwash Technology, Operational Efficiency, Raw Water Consumption, Downtime Reduction

1. PENDAHULUAN

Industri petrokimia terus mengalami perkembangan yang cukup pesat seiring dengan meningkatnya permintaan pasar lokal maupun global terhadap produk petrokimia. Salah satu perusahaan yang bergerak pada bidang ini, memanfaatkan teknologi canggih loop reactor dengan lisensi *LyondellBassel* dalam proses produksinya untuk menghasilkan produk polimer berkualitas tinggi (Venzke et al. 2017). Dalam proses produksinya ada dua tahapan proses penting yang harus dilakukan setelah proses polimerisasi pada reaktor, yaitu Steaming yang berfungsi untuk mendeaktifasi teal yang masih ada di dalam flake dan menghilangkan senyawa hidrokarbon yang masih tersisa serta mengeringkan flake, dan drying yang berfungsi untuk mengeringkan flake atau polimer dengan nitrogen panas (Guo et al. 2010)

Salah satu permasalahan yang dihadapi saat ini dalam keseluruhan prosesnya adalah tingginya konsumsi air baku (Mensah-Akutteh et al. 2022). Air baku (treated water) ini sangat penting bagi perusahaan karena sifatnya yang bebas dari kontaminan yang dapat menyebabkan korosi (corrosion) atau penumpukan endapan (fouling) pada peralatan jika tidak ditangani dengan baik (Hagström et al. 2016). Sebagian besar air baku (treated water) yang telah digunakan ini pada awalnya dibuang begitu saja melalui aliran blowdown, hal ini mengakibatkan tingginya kebutuhan untuk penambahan air baru (make-up water), yang bisa berdampak langsung pada peningkatan biaya operasional perusahaan.

Kompleksitas sistem filtrasi yang ada saat sekarang ini, dengan desain komponen pre-filter dan filtrasi utama yang terpisah, hal ini juga menimbulkan permasalahan dalam hal efisiensi ruang serta untuk biaya perancangan. Dengan demikian sistem yang terpisah tersebut membutuhkan area instalasi yang lebih luas serta biaya investasi yang lebih tinggi untuk pengadaan alat (equipment) serta untuk perawatannya (maintenance) (Nainggolan et al. 2019).

Sistem filtrasi yang ada saat ini memiliki keterbatasan dalam hal perawatan dan pembersihan. Proses pembersihan filter (cleaning filter) yang dilakukan secara manual membutuhkan waktu yang cukup lama dan tenaga yang intensif. Maka diperlukannya pengembangan desain filter fine removal dengan sistem backwash sebagai Solusi potensial yang bisa dilakukan.

Sistem backwash ini memungkinkan pembersihan filter dilakukan secara otomatis dengan mengalirkan air ke dalam filter secara berlawanan arah, hal tersebut dapat mengurangi kebutuhan pembersihan filter (cleaning filter) secara manual. Penggabungan dua sistem antara pre-filter dan filtrasi utama yang menggunakan catridge filter dalam satu alat (equipment) juga dapat mengoptimalkan penggunaan ruang instalasi yang dibutuhkan serta biaya perancangan secara keseluruhan. Sistem cleaning yang di implementasikan dengan sistem backwash ini secara signifikan dapat mengurangi waktu yang dibutuhkan dalam proses pembersihan filter(Shan et al. 2025).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini akan berfokus pada pengembangan desain filter fine polymer dengan menggunakan sistem backwash pada aliran blow down setelah melalui proses dryer scrubber serta menggabungkan dua sistem, prefiltrasi dan filtrasi utama, untuk menghemat ruang serta biaya perancangan keseluruhan. Tujuan dari penelitian ini untuk merancang sistem filtrasi fine removal dengan fitur backwash yang terintegrasi dengan pre-filter dan filtrasi utama untuk meningkatkan efisiensi pemisahan fine polymer dari air baku (treated water) pada aliran blow down setelah proses dryer scrubber, sekaligus menghemat ruang instalasi dan menekan biaya perancangan.

Dari pengembangan desain sistem filter fine removal dengan system backwash diharapkan dapat mengatasi permasalahan ini, dengan menggabungkan sistem pre-filter dan filtrasi utama, serta otomatisasi proses pembersihan pada filter, diharapkan konsumsi air baku dapat dikurangi dengan signifikan dan efesiensi waktu dalam melakukan perawatan pada filter yang tidak lagi dilakukan secara manual (Fachrunnisa, Ari Usman, and Mufida

Khairani 2024). Sehingga diharapkan nantinya penelitian ini memberikan wawasan tambahan pada pengembangan teori dan konsep pada sistem filtrasi sertam menambah literatur tentang teknologi pemisahan fine polyer dalam konteks industry petrokimia.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dan eksperimental, pendekatan kualitatif dalam penelitian ini digunakan untuk memahami secara mendalam proses-proses pengolahan air, seperti koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan desinfeksi. Data yang diperoleh melalui wawancara dengan operator atau pengamatan langsung di lapangan akan dianalisis untuk menggali pemahaman tentang tantangan dan praktik yang diterapkan dalam proses pengolahan air tersebut. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk memperoleh wawasan tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas air yang dihasilkan dan kendala yang dihadapi dalam sistem pengolahan (Ishtiaq 2019), Pendekatan eksperimental digunakan untuk menguji variabel-variabel tertentu dalam pengolahan air, seperti konsentrasi koagulan atau durasi flokulasi, dan bagaimana pengaruhnya terhadap efisiensi penyaringan dan kualitas air. Penelitian eksperimental ini dilakukan melalui percobaan di laboratorium dengan mengontrol kondisi-kondisi tertentu untuk melihat hasil yang lebih terukur dan objektif dalam proses pengolahan air (Montgomery 2017)

Pengumpulan data dimulai dengan observasi langsung di lokasi penelitian, untuk memperoleh informasi teknis terkait sistem filtrasi, desain awal dan kebutuhan desain baru. Data utama yang dikumpulkan meliputi dimensi peralatan, spesifikasi filter yang digunakan, serta parameter operasional seperti debit aliran, tekanan, dan suhu. Selain itu, pengambilan sampel treated water yang bercampur dengan fine polymer dilakukan gramasi untuk dapat di ukur berat partikel halus yang terdisprsi dalam volume air tertentu. Dalam konteks pengolahan treated water dan fine polymer, gramasi memberikan gambaran mengenai konsentrasi partikel halus dari fine polymer di dalam air, yang dapat mempengaruhi kinerja sistem pemisahan seperti filter. Dengan mengetahui nilai gramasi, peneliti dapat menentukan seberapa besar beban partikel halus yang harus ditangani oleh filter fine removal. Semakin tinggi nilai gramasi semakin besar potensi penyumbatan yang dapat terjadi pada filter, serta semakin sering filter perlu dilakukan pembersihan. Hal tersebut membuat pemantauan gramasi air yang bercampur dengan fine polymer sangat penting untuk menjaga efisiensi filter fine removal dan meminimalkan downtime.

Penetapan spesifikasi desain dilakukan berdasarkan data yang diperoleh dari observasi dan kajian literatur. Spesifikasi ini mencakup ukuran housing filter, jenis dan ukuran mesh pada pre-filter dan Cartridge Filter, serta parameter operasional untuk sistem backwash. Penyesuaian spesifikasi dilakukan dengan mempertimbangkan efisiensi ruang instalasi, durabilitas material, dan kemudahan dalam perawatan alat.

Evaluasi desain dilakukan dengan mempertimbangkan aspek keselamatan dan daya tahan material. Material stainless steel dipilih untuk housing filter guna mencegah korosi akibat kontak dengan treated water. Selain itu, mesh filter dipilih berdasarkan tingkat ketahanan terhadap tekanan balik selama proses backwash, agar dapat memastikan umur pakai alat dapat diperpanjang.

Selanjutnya data akan dibandingkan untuk uk menilai keunggulan sistem filter fine removal yang baru dibandingkan dengan sistem filter yang ada saat ini. Fokus utama dalam perbandingan ini adalah untuk mengevaluasi perbedaan dalam beberapa aspek kunci yang berkaitan dengan efisiensi operasional dan performa kedua sistem. Salah satu parameter utama yang dibandingkan adalah perbedaan efisiensi waktu yang diperlukan dalam proses pembersihan filter. Sistem filter baru diharapkan dapat mengurangi waktu downtime yang dibutuhkan untuk pembersihan, yang berpotensi mengurangi gangguan dalam proses produksi.

Dengan waktu pembersihan yang lebih singkat, sistem baru dapat meningkatkan produktivitas operasional, yang menjadi keunggulan penting dalam dunia industri yang mengutamakan efisiensi.

Selain efisiensi waktu, perbandingan juga dilakukan terhadap perbedaan tingkat pembersihan filter antara kedua sistem. Dalam penelitian ini, sistem filter baru diharapkan memiliki tingkat pembersihan yang lebih tinggi dalam memisahkan partikel halus (fine polymer) dari treated water. Dengan kemampuan yang lebih baik dalam mengurangi konsentrasi partikel halus, filter baru dapat memperpanjang umur operasional sistem, serta mengurangi potensi penyumbatan pada filter. Tingkat pembersihan yang lebih baik juga berarti lebih sedikit partikel yang lolos ke tahap berikutnya, yang dapat berkontribusi pada peningkatan kualitas air yang dihasilkan (Maulianawati and Lembang 2022).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Konsentrasi Fine polymer

Untuk menghitung konsentrasi fine polymer setelah melewati Screen Filter, digunakan rumus yang mengacu pada ASTM F795 (Uji Efisiensi Filtrasi Cairan). Selanjutnya dihitung fine polymer yang masih tersisa dalam aliran menggunakan rumus dari konsep dasar massa zat terlarut dalam fluida(Budiarti and Amelia 2022). Setelah fluida melewati screen filter, sebagian fine polymer berhasil ditahan oleh media filtrasi, sementara sebagian lainnya tetap lolos dalam aliran fluida. Perhitungan ini didasarkan pada konsep massa zat terlarut dalam fluida (Budiarti and Amelia 2022)

Dari Proses gramasi yang dilakukan dengan metode gravimetri termal menggunakan panci rebus sebagai alat pemanasan. Sebanyak 1,5 liter air yang telah bercampur dengan fine polymer ditampung dalam panci, kemudian dipanaskan secara bertahap hingga mencapai titik didih. Setelah air mengering sepenuhnya, residu yang tertinggal di dasar panci menunjukkan perubahan warna menjadi putih menyerupai warna dasar polimer polypropilena. Hal ini mengindikasikan bahwa fine polymer yang tertinggal setelah penguapan adalah polimer dengan karakteristik termal yang memungkinkan perubahan struktur warna saat terkena panas tinggi.

Setelah proses selesai, residu fine polymer yang tersisa ditimbang dan diperoleh massa sebesar 0,163 gram, dengan asumsi ukuran partikel fine polymer adalah sekitar 40 mikron, yang merupakan nilai yang lebih rendah dalam kisaran 20–100 mikron yang umum digunakan dalam pengolahan polimer (Luo et al., 2009).Untuk keperluan ini, nilai 40 mikron dipilih berdasarkan pertimbangan praktis dan kebutuhan eksperimen yang lebih relevan dalam konteks analisis distribusi ukuran partikel. Dengan demikian dapat dilakukan perhitungan untuk menentukan konsentrasi g/L (Zulharmitta, Kasypiah and Rivai, 2017),sebagai berikut:

$$Konsentrasi = \frac{Massa\ Partikel}{Volume\ Larutan} \quad (1)$$

Jadi, konsentrasi fine polymer yang terdapat dalam 1 liter treated water yang telah melewati proses scrubber untuk memisahkan nitrogen dan fine polymer pada T-502 yaitu 0,1087 g/L

3.2. Spesifikasi Pompa Backwash

Spesifikasi pompa backwash yang digunakan untuk aliran backwash. Pompa ini beroperasi dengan kecepatan 1600 RPM, kapasitas 25 m³/jam, dan head 30 meter. Pemilihan pompa ini didasarkan pada ketersediaan pompa yang sudah ada yang dirancang untuk memberikan tekanan optimal dalam proses pembersihan filter tanpa merusak media filtrasi. Spesifikasi ini mendukung efisiensi backwash yang efektif, meminimalkan downtime, dan memastikan kinerja sistem filtrasi tetap terjaga.

3.3. Konsep Desain Baru

Pada desain awal, sistem filtrasi belum dilengkapi dengan sistem backwash, sehingga proses pembersihan masih dilakukan secara manual dengan waktu perawatan yang cukup lama, yaitu sekitar 3 jam setiap kali dilakukan maintenance. Selain itu, wire mesh 60 yang

digunakan sebagai satu-satunya media penyaringan hanya memiliki efisiensi sekitar 2.56%, sehingga masih banyak partikel fine polymer yang lolos setelah filtrasi. Oleh karena itu, desain baru dikembangkan untuk mengintegrasikan sistem backwash otomatis, meningkatkan efisiensi penyaringan, serta mengoptimalkan penggunaan air baku agar lebih berkelanjutan dalam sistem produksi industri.

Desain sistem filtrasi fine polymer removal terbaru menggabungkan *multi-layer filtration* yang terdiri dari kombinasi *honeycomb* dan *mesh* secara bertahap untuk meningkatkan efisiensi penyaringan dan menstabilkan aliran fluida. Urutan lapisan terdiri dari honeycomb, mesh 60, honeycomb, mesh 120 dan honeycomb, yang mampu mengoptimalkan pemisahan partikel halus serta mengurangi risiko deformasi pada media filter. Sistem ini juga dilengkapi *fitur backwash otomatis* dua jalur (atas dan bawah) untuk mempersingkat waktu pembersihan, menurunkan downtime, dan meningkatkan durabilitas filter. Efisiensi sistem lebih ditingkatkan melalui integrasi *Cartridge Filter* pada tahap akhir dengan kombinasi mesh halus (140 dan 170), yang memungkinkan penyaringan partikel lebih kecil, memperpanjang umur filter, serta menghasilkan air olahan (treated water) berkualitas tinggi. Secara keseluruhan, sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi kebutuhan air baku baru, dan mendukung keberlanjutan industri.

3.4. Justifikasi Perubahan Desain

Perubahan desain yang dilakukan pada sistem filtrasi ini mengintegrasikan dua proses filtrasi utama, yaitu pre-filter dan cartridge filter, dengan tujuan untuk menghemat ruang dan meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem. Pada desain sebelumnya, kedua proses filtrasi tersebut mungkin terpisah, yang menyebabkan penggunaan ruang yang lebih besar dan risiko penurunan kinerja akibat filter yang tidak mampu menangani beban filtrasi secara optimal. Dengan menggabungkan pre-filter dan cartridge filter dalam satu sistem yang terintegrasi, ruang yang digunakan untuk instalasi dapat diminimalkan tanpa mengorbankan efisiensi filtrasi.

Pre-filter digunakan pada tahap awal untuk menyaring partikel-partikel besar dan kotoran yang ada dalam aliran, sementara cartridge filter ditempatkan pada tahap akhir untuk menangani fine polymer dan partikel-partikel lebih kecil yang lolos dari pre-filter. Hal ini memastikan bahwa hampir semua fine polymer telah terfiltrasi sebelum memasuki tahaptahap berikutnya dalam sistem. Dengan demikian, sistem filtrasi ini mampu mengurangi beban kerja pada proses-proses hilir, seperti exchanger, yang sebelumnya rentan terhadap percepatan penyumbatan akibat partikel fine polymer yang tidak terfilter dengan baik.

Selain itu, integrasi cartridge filter pada akhir proses filtrasi juga memberikan keuntungan dalam hal memperpanjang interval terjadinya penyumbatan pada aliran spray pada proses scrubber. Sebagian besar fine polymer yang dapat menyebabkan sumbatan telah disaring pada tahap filtrasi sebelumnya, sehingga mengurangi frekuensi perawatan dan meningkatkan waktu operasional sistem secara keseluruhan. Dengan perubahan desain ini, proses-proses kritis dalam aliran produksi dapat berjalan lebih lancar dan lebih efisien, mengurangi risiko downtime yang disebabkan oleh masalah penyumbatan, serta meningkatkan kinerja operasional sistem filtrasi secara keseluruhan.

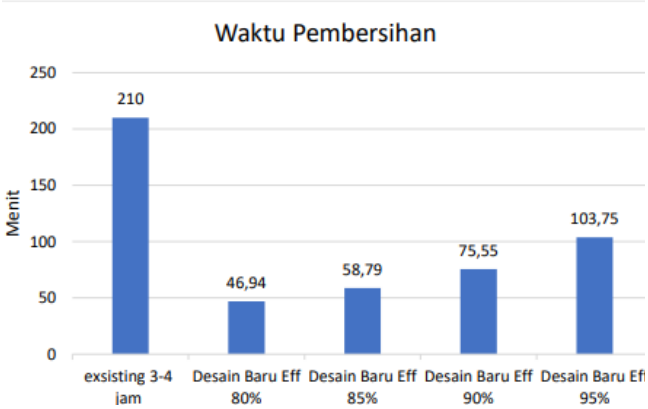
3.5. Operasi Aliran *Backwash*

Sistem backwash berfungsi untuk membersihkan media filter dari akumulasi fine polymer yang menumpuk selama proses filtrasi. Proses ini dilakukan dengan membalikkan aliran fluida bertekanan tinggi untuk mengeluarkan partikel yang tersangkut dalam filter, sehingga kinerja filtrasi tetap optimal dan frekuensi perawatan manual dapat dikurangi. parameter utama seperti kapasitas aliran, tekanan, serta kecepatan putaran pompa yang berperan dalam proses pembersihan filter. perhitungan ini digunakan untuk memastikan bahwa pompa backwash memiliki

kinerja yang optimal dalam menghilangkan partikel yang menumpuk pada media filtrasi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi sistem dan mengurangi downtime akibat pembersihan manual

3.6. **Analisa Hasil**

3.6.1 **Perbedaan Efisiensi Waktu**

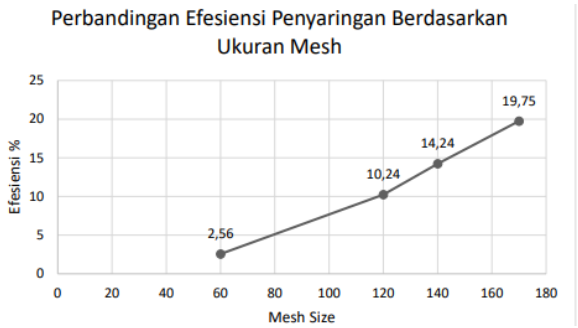


Gambar 1. Perbedaan Efisiensi waktu untuk Exsisting & desain baru

Gambar diatas merupakan grafik perbedaan efisiensi waktu yang dibutuhkan untuk membersihkan filter fine removal desain exsisting dengan desain baru yang dapat dilihat perbandingan waktu pembersihan filter antara sistem eksisting dan sistem desain baru dengan waktu yang dibutuhkan untuk berbagai tingkat efisiensi backwash.

Perbandingan waktu pembersihan antara sistem eksisting dan sistem desain baru menunjukkan bahwa sistem backwash otomatis pada desain baru dapat mengurangi waktu pembersihan filter lebih dari 50%, dengan waktu pembersihan yang sebelumnya memakan waktu 3 hingga 4 jam (210 menit) pada sistem eksisting kini dapat dipangkas menjadi hanya 46,94 hingga 103,75 menit, tergantung pada efisiensi backwash yang ingin diterapkan, yang secara signifikan mengurangi downtime operasional, meningkatkan kontinuitas produksi, dan memungkinkan proses filtrasi beroperasi lebih efisien tanpa gangguan yang lama.

3.6.2 **Perbedaan Tingkat Pembersihan Filter**



Gambar 2. Perbandingan Efisiensi Penyaringan Berdasarkan Ukuran Mesh

Gambar diatas merupakan grafik perbandingan efisiensi penyaringan berdasarkan ukuran mesh yang digunakan dalam sistem filtrasi fine polymer. Perbandingan ini mencakup dua sistem: sistem eksisting dan sistem desain baru yang menggunakan teknologi backwash otomatis dengan multi-layer mesh. Sistem eksisting hanya menggunakan mesh 60 (~250 µm) dengan efisiensi penyaringan rendah, yaitu sekitar 2,56%, sehingga banyak partikel halus masih lolos. Sebaliknya, sistem desain baru memanfaatkan kombinasi mesh 120 (~125 µm), mesh 140 (~106 µm), dan mesh 170 (~90 µm) yang secara signifikan meningkatkan efisiensi, masing-masing mencapai 10,24%, 14,24%, dan 19,75%, sehingga mampu menyaring partikel halus dengan jauh lebih efektif.

3.6.3 **Perbedaan Efisiensi Operasional**

Perbandingan efisiensi operasional antara sistem eksisting dan sistem desain baru menunjukkan keuntungan yang signifikan pada desain baru, terutama dalam hal pengurangan frekuensi pembersihan dan peningkatan keandalan sistem secara keseluruhan.

Pada sistem eksisting, konsentrasi fine polymer yang masih tinggi dalam aliran menyebabkan kebutuhan untuk pembersihan yang lebih sering pada berbagai tahap proses, termasuk pada exchanger dan pompa spray yang berfungsi untuk memisahkan fine polymer pada tahapan scrubbing dengan gas nitrogen di T-502. Akumulasi fine polymer yang lebih banyak menyebabkan penurunan

efisiensi proses dan meningkatkan risiko sumbatan atau plug pada peralatan ini, yang dapat mengganggu proses produksi dan meningkatkan biaya operasional.

Sebaliknya, pada sistem desain baru, penggunaan multi-layer mesh dan teknologi backwash otomatis secara efektif menurunkan konsentrasi fine polymer dalam aliran filtrasi, yang berdampak langsung pada kualitas air hasil filtrasi yang lebih baik dan lebih bersih. Dengan konsentrasi fine polymer yang lebih rendah, frekuensi pembersihan pada tahap berikutnya, seperti exchanger dan pompa spray, dapat dikurangi. Selain itu, penurunan jumlah fine polymer yang lolos juga mengurangi kemungkinan sumbatan atau plug pada pompa spray, yang pada gilirannya memperpanjang umur peralatan dan meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan.

Keuntungan-keuntungan ini tidak hanya mengurangi downtime akibat perawatan, tetapi juga menurunkan biaya operasional dengan memperpanjang interval pembersihan dan mengurangi kerusakan pada komponen sistem.

3.7. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Secara khusus, penghargaan disampaikan kepada Perusahaan yang telah memberikan kesempatan, data, dan fasilitas yang diberikan selama proses penelitian berlangsung. Ucapan terima kasih juga seluruh rekan kerja dan tim teknis yang turut memberikan masukan, bantuan teknis, serta motivasi yang sangat berarti. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan sistem filtrasi yang lebih efisien dan berkelanjutan di industri petrokimia.

4. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Penerapan sistem filtrasi fine removal dengan teknologi backwash otomatis memberikan peningkatan performa yang signifikan dibandingkan sistem eksisting. Sistem desain baru terbukti mampu mengurangi waktu pembersihan filter lebih dari 50%, dari 3–4 jam menjadi sekitar 47–104 menit, tergantung efisiensi backwash. Efisiensi filtrasi juga meningkat drastis hingga 39,81%, berkat penggunaan kombinasi mesh berukuran lebih kecil (mesh 120, 140, dan 170), yang mampu menyaring lebih banyak partikel halus. Selain itu, frekuensi maintenance dapat ditekan karena interval pembersihan dapat diperpanjang dari 24 menjadi 30 jam. Secara keseluruhan, sistem baru ini mampu menurunkan downtime, menghemat biaya operasional, serta meningkatkan efisiensi proses secara menyeluruh, termasuk pada sistem scrubbing di unit T-502.

4.2. Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan agar sistem filtrasi yang telah dirancang diimplementasikan dalam skala yang lebih besar guna meningkatkan kapasitas penyaringan dan menjawab kebutuhan operasional yang lebih tinggi. Selain itu, perlu dilakukan pengembangan sistem pemantauan kontaminasi berbasis teknologi Internet of Things (IoT) agar jumlah kontaminan dapat dipantau secara real-time, sehingga pengambilan keputusan terhadap kondisi operasional dapat dilakukan lebih cepat dan akurat.

5. DAFTAR PUSTAKA

Budiarti, Gita Indah, and Shinta Amelia. 2022. *Operasi Perpindahan Massa Dan Panas*. UAD PRESS.

Fachrunnisa, Nisa, Ari Usman, and Mufida Khairani. 2024. ‘Implementasi Noise Removal Dan Image Enhancement Pada Citra Digital Menggunakan Metode Adaptive Median Filter’. *Jurnal Ilmu Komputer Dan Sistem Informasi* 3 (1): 11–20. https://doi.org/10.70340/jirsi.v3i1.95.

Guo, Jing Bo, Fang Ma, Chein Chi Chang, and Li Wei. 2010. ‘Application of a Hybrid Process with Biofilm and Suspended Biomass for Treating Petrochemical Wastewater’. *Advanced Materials*

Research 113–116 (June):469–73. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.113-116.469.

Hagström, Earl L., Christopher Lyles, Mala Pattanayek, Bridgette DeShields, and Mark P. Berkman. 2016. 'Produced Water—Emerging Challenges, Risks, and Opportunities'. *Environmental Claims Journal* 28 (2): 122–39. https://doi.org/10.1080/10406026.2016.1176471.

Ishtiaq, Muhammad. 2019. 'Book Review Creswell, J. W. (2014). Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches (4th Ed.). Thousand Oaks, CA: Sage'. *English Language Teaching* 12 (5): 40. https://doi.org/10.5539/elt.v12n5p40.

Luo, Zheng-Hong, Pei-Lin Su, Xiao-Zi You, De-Pan Shi, and Jin-Cheng Wu. 2009. 'Steady-State Particle Size Distribution Modeling of Polypropylene Produced in Tubular Loop Reactors'. *Chemical Engineering Journal* 146 (3): 466–76. https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.10.023.

Maulianawati, Diana, and Miska Sanda Lembang. 2022. *Kualitas Air Akuakultur*. Syiah Kuala University Press.

Mensah-Akutteh, Hanson, Richard Buamah, Samuel Wiafe, and Kwabena B. Nyarko. 2022. 'Raw Water Quality Variations and Its Effect on the Water Treatment Processes'. *Cogent Engineering* 9 (1). https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2122152.

Montgomery, Douglas C. 2017. *Design and Analysis of Experiments*. John wiley & sons.

Nainggolan, Ajeng Ari, Rizka Arbaningrum, Aulia Nadesya, Dara Janti Harliyanti, and Mohammad Ammar Syaddad. 2019. 'Alat Pengolahan Air Baku Sederhana Dengan Sistem Filtrasi'. *Widyakala Journal: Journal of Pembangunan Jaya University* 6:12–20.

Shan, Yuanxiang, Bingjie Zhou, Zhendong Liu, Lu Li, Kemei Zhou, Zhiwei Wang, Binbin Wu, Wanting Feng, Hongqin Xue, and Zheng Wang. 2025. 'In Situ Ultrasonic-Backwash Regeneration of Upflow Activated Carbon Filters for Improved Removal of Organics from Drinking Water'. *Process Safety and Environmental Protection* 198 (June):107188. https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107188.

Venzke, Carla Denize, Marco Antônio Siqueira Rodrigues, Alexandre Giacobbo, Luciana Ely Bacher, Iona Souza Lemmertz, Cheila Viegas, Júlia Striving, and Shaiane Pozzebon. 2017. 'Application of Reverse Osmosis to Petrochemical Industry Wastewater Treatment Aimed at Water Reuse'. *Management of Environmental Quality: An International Journal* 28 (1): 70–77. https://doi.org/10.1108/MEQ-07-2015-0149.

Zulharmitta, Zulharmitta, Ummil Kasypiah, and Harrizul Rivai. 2017. 'Pembuatan Dan Karakterisasi Ekstrak Kering Daun Jambu Biji (Psidium Guajava L.)'. *Jurnal Farmasi Higea* 4 (2): 147–57.