

Analysis of Pressure Loss for Treatment Process of Demineralized Water at the Water Treatment Plant Unit at PT. ABC North Sumatra

¹Donda, ¹Darni Paranita, ^{1*}Dimas Frananta Simatupang

¹Program Studi Teknik Kimia, Politeknik Teknologi Kimia Industri Medan, Indonesia

*difratas@ptki.ac.id

ARTICLE INFO

Article History:

Diterima : 28-11-2023

Disetujui : 29-01-2024

Keywords:

Reverse Osmosis;

Reynolds Number;

Pressure Loss;

Galvanis Pipes



ABSTRACT

Abstract: For the demineralized water treatment process, the water from the Portable Water Pound is pumped to the Reverse Osmosis system by a centrifugal pump. The pump provides the necessary force for the fluid to reach the Reverse Osmosis system. In a piping system, fluid flow in water treatment industries experiences pressure drop. The objective of this research is to determine the pressure loss and Reynolds number. The method includes calculating flow rate, Reynolds number, and pressure loss. The research results indicated that in a pipe diameter of 15 cm with a total pipe and fitting length of 5.0303 m, the average Reynolds number with an average fluid flow rate of 20.8 m³/hour was 61,411.46 (turbulent flow). Meanwhile, in a 10 cm diameter pipe with a total pipe and fitting length of 27.2228 m and the same average fluid flow rate, the Reynolds number was 86,671.40 (turbulent flow). The total pressure loss obtained at a temperature of 32°C is 323,382.68 Pa. The water flow rate has a positive relationship with the pressure loss in the pipe. The higher the flow rate, the greater the pressure loss. The Reynolds number also increases with the flow rate, indicating that higher flow rates result in higher Reynolds numbers and turbulence in the flow.

Abstrak: Untuk proses pengolahan air demineral, air dari *Portable Water Pound* yang dipompakan menuju *Reverse Osmosis* membutuhkan tenaga yang diberikan oleh pompa. Pompa yang digunakan ialah pompa sentrifugal. Air yang dipompakan menuju *Reverse Osmosis* membutuhkan tekanan dari pompa sentrifugal tersebut agar fluida bisa sampai ke dalam *Reverse Osmosis*. Dalam suatu sistem perpipaan, aliran fluida dalam industri pengolahan air mengalami penurunan tekanan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kehilangan tekanan dan bilangan Reynold. Metode yang digunakan meliputi perhitungan debit aliran, bilangan Reynolds, dan kehilangan tekanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada diameter pipa 15 cm dengan panjang pipa dan *fitting* 5,0303 m menghasilkan rata-rata bilangan Reynold dengan debit fluida rata-rata sebesar 20,8 m³/jam sebesar 61.411,46 (turbulensi). Sementara itu, pada diameter 10 cm dengan panjang pipa dan *fitting* 27,2228 m menghasilkan rata-rata bilangan Reynold dengan debit fluida yang sama sebesar 86.671,40 (turbulensi). Kehilangan tekanan total yang diperoleh pada suhu 32 °C adalah sebesar 323.382,68 Pa. Debit aliran air memiliki hubungan positif dengan kehilangan tekanan dalam pipa. Semakin tinggi debit aliran, semakin besar kehilangan tekanan yang terjadi. Bilangan Reynolds juga berbanding lurus dengan debit aliran, yang menunjukkan bahwa semakin besar debit aliran, semakin besar pula nilai Reynolds dan aliran akan mengalami turbulensi.



<https://doi.org/10.31764/justek.vXiY.ZZZ>



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

A. LATAR BELAKANG

Air industri merupakan salah satu kebutuhan penting dalam dunia perindustrian dan menjadi sumber daya yang memiliki fungsi sangat vital yaitu menjadi sumber air industri yang terdapat diatas permukaan tanah. Penggunaan air industri terutama adalah untuk pembersihan, pemanasan, pendinginan, dan pembuatan uap/steam. Sumber air berasal dari air permukaan termasuk air sungai. Kualitas air ditentukan oleh kontaminan biologi, fisika, dan kimia. Untuk peralatan *boiler* yang menghasilkan uap, air demineral atau disingkat air demin yang diproses dengan menggunakan alat *Reverse Osmosis* menghasilkan jenis air yang memiliki sedikit atau tidak ada sama sekali kandungan mineral di dalamnya, karena telah melalui proses pemurnian (Diasa et al., 2019; Simatupang, Saragih, et al., 2021; Widarti, 2015). Air demin adalah suatu produk air yang telah mengalami proses pemisahan mineral-mineral yang terkandung didalamnya atau air yang sudah tidak mengandung mineral. Untuk kebutuhan industri, adanya kontaminan atau pencemar berupa bahan mineral dalam air memang menjadi faktor-faktor yang perlu diperhatikan karena keberadaan kontaminan mineral-mineral bisa menimbulkan masalah (Sumada, 2018; Sutopo, 2019).

Air demin dapat diperoleh dengan cara air dilewatkan suatu media membran yang berporositas tertentu untuk menghilangkan padatan yang tidak diinginkan. Cara tersebut biasa disebut dengan Reverse Osmosis (RO). RO adalah suatu metode penyaringan yang dapat menyaring berbagai molekul besar dan ion-ion yang ada di dalam air dengan cara memberi tekanan pada air ketika air tersebut berada di salah satu sisi membran (lapisan penyaring). Alat ini mempunyai kemampuan mengolah air mineral menjadi air demin dengan proses kontinu. Untuk proses pengolahan air demin, air dari Portable Water Pound dipompakan menuju RO dimana membutuhkan tenaga yang disuplai oleh pompa. Pompa yang digunakan ialah pompa sentrifugal. Air yang dipompakan menuju RO membutuhkan tekanan dari pompa sentrifugal tersebut agar fluida bisa sampai ke dalam RO (Putri & Purnomo, 2023; Suryani et al., 2022).

Jenis membran yang digunakan yaitu Breackis Water Reverse Osmosis (BWRO) yang digunakan khusus untuk air sungai. Membran ini dapat menurunkan kadar mineral-mineral yang terkandung di dalam air sungai karena mempunyai ukuran filtrasi yang sangat halus yaitu 1/10,000 mikron atau setara dengan sehelai rambut dibagi satu juta. Dengan ukuran sekecil ini maka virus, bakteri dan kandungan logam akan tersaring dimana ukuran membran RO jauh lebih kecil dari ukuran virus, bakteri dan kandungan ion logam. Dengan demikian, kandungan dalam air demin sudah tidak mengandung kontaminan dan ion logam sehingga tidak menimbulkan masalah serius seperti korosi, kerak, hingga carry over pada pengolahan steam dalam boiler (Lahin et al., 2021; Sefentry & Masriatini, 2020; Simatupang & Ramadhani, 2021; Viccione & Evangelista, 2017).

Dalam suatu sistem perpipaan, aliran fluida dalam industri pengolahan air mengalami penurunan tekanan (Pressure Drop). Penurunan tekanan tersebut disebabkan karena fluida yang mengalir mengalami gesekan di sepanjang aliran fluida seperti panjang pipa, diameter pipa, kekasaran pipa, viskositas fluida dan adanya komponen yang terpasang disepanjang sistem perpipaan seperti Gate Valve, Sambungan T, dan Belokan (Bend) yang dilalui oleh fluida tersebut. Karakteristik aliran fluida dapat ditentukan berdasarkan bilangan Reynold (Re). Bilangan Reynold adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos yang mengkuantifikasikan hubungan kedua tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Dengan

diketahui bilangan Reynold jenis aliran fluida dapat ditentukan laminar atau turbulen. Dalam aliran laminar kerugian tekanan pada aliran sebanding dengan kecepatan fluida, tetapi untuk aliran turbulen kerugian tekanan sebanding dengan kecepatan fluida. Terdapat tiga jenis aliran fluida yaitu aliran laminar dengan $Re < 2300$, aliran transisi dengan $2300 < Re < 4000$ dan aliran turbulen, dengan $Re > 4000$. Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran fluida yang bergerak lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan setiap lapisan yang bergerak (Abbas, 2014; Jalaluddin et al., 2019).

Beberapa penelitian yang terkait dengan kehilangan tekanan pada pipa telah dilaporkan, diantaranya yaitu penentuan kehilangan tekanan pada pipa salur menggunakan metode Orkiszewski dengan besarnya tekanan yang hilang mencapai 6575 (Sanjaya, 2021). Selanjutnya, penelitian lainnya yang masih membahas mengenai kehilangan tekanan pada aliran dua fasa menggunakan metode Ansari dan Kaya dengan besarnya tekanan yang hilang mencapai 483,1759 untuk pipa vertikal pada sumur X dan lapangan Y (Ginting, 2021). Pada penelitian ini telah dilakukan perhitungan terhadap kehilangan tekanan dan penentuan bilangan Reynolds terhadap proses pengolahan air demin dari Portable Water Pound yang dipompakan menuju RO di Unit Pengolahan Air PT. ABC Sumatera Utara.

B. METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan hanya air baku yang berada di *Portable Water Pound* sedangkan alat-alat penelitian meliputi pompa vertikal, *catridge filter* PCB9, perlengkapan pipa/*fitting* (*gate valve*, *globe valve*, *reducer*, *elbow* (45° & 90°), *strainer* Y dan percabangan), BWRO *High Pressure Pump*, sistem BWRO, Membran RO CPA5 Max, pipa galvanis diameter 10 dan 15 cm dan termometer.

Prosedur Kerja

Aliran air baku yang berada di *Portable Water Pound* dipompakan melewati katup *gate valve*. Selanjutnya, aliran air melewati pipa berdiameter 15 cm (pengecilan aliran dari diameter 15 cm ke 10 cm) dan melewati *reducer*. Kemudian, aliran air melewati aliran naik lalu melewati aliran turun. Setelah itu, aliran melewati *catridge filter* dan *high pressure pump*. Selanjutnya, aliran air masuk ke dalam membran RO. Selama proses aliran air, data yang diperoleh dan terukur meliputi panjang pipa selama proses berlangsung, banyaknya komponen yang terpasang pada sistem perpipaan, debit aliran pada pompa dan suhu air. Setelah data diperoleh maka dilakukan perhitungan bilangan Reynolds dan kehilangan tekanan total.

Analisis Data

Data-data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan kalkulasi persamaan sebagai berikut

$$Q = V \times A \quad (1)$$

dengan Q merupakan debit aliran fluida (m^3/s), V merupakan kecepatan fluida (m/s) dan A merupakan luas penampang (m). Persamaan (1) digunakan untuk menghitung

debit aliran fluida (Simatupang, Yunianto, et al., 2021). Selanjutnya, untuk menghitung bilangan Reynolds maka digunakan rumus sebagai berikut

$$Re = \frac{\delta \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (2)$$

dimana Re merupakan bilangan Reynolds, δ merupakan diameter dalam pipa (m), ρ merupakan kerapatan fluida (kg/m^3) dan μ merupakan kekentalan fluida (kg.s/m) (Jalaluddin et al., 2019). Untuk menentukan kerugian tekanan akibat *head loss mayor* (H_{f1}) dihitung menggunakan rumus sebagai berikut

$$H_{f1} = f \frac{LV^2}{\delta 2g} \quad (3)$$

dengan f adalah faktor friksi (*moody*), L adalah panjang pipa (m) dan g adalah percepatan gravitasi (m/s^2). Kemudian, untuk menentukan kerugian tekanan akibat *head loss minor* (H_{f2}) dihitung menggunakan rumus sebagai berikut

$$H_{f2} = \eta K \frac{V^2}{2} \rho \quad (4)$$

dimana η adalah jumlah komponen dan K adalah koefisien kekasaran. Sementara itu, karena adanya efek perbedaan ketinggian maka dilakukan perhitungan kehilangan tekanan terhadap kenaikan dan penurunan aliran pipa yang memiliki diameter 10 cm (ΔP) sehingga ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut

$$\Delta P = \left(\frac{V^2}{2} + g\Delta z \right) \rho \quad (5)$$

dengan Δz merupakan perbedaan ketinggian (m). Dengan demikian, untuk menentukan total kehilangan tekanan (ΣP_{loss}) dihitung dengan rumus (Tukiman et al., 2013)

$$\Sigma P_{loss} = H_{f1} + H_{f2} + \Delta P + \Sigma L \quad (6)$$

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam proses transfer fluida dari *Portable Water Pound* menuju *Reverse Osmosis* yang disuplai dengan menggunakan pompa sentrifugal, melewati pipa Galvanis sepanjang 32,2531 m dengan diameter 15 cm dan 10 cm serta melewati beberapa komponen perpipaan. Selama proses transfer fluida dari *Portable Water Pound* menuju ke RO, pasti tidak terlepas dari adanya kehilangan tekanan. Kehilangan tekanan yang terjadi dampaknya akan mempengaruhi jarak transfer fluida.

D. Kehilangan tekanan terjadi karena disebabkan oleh jenis pipa, diameter pipa, panjang pipa, temperature, densitas, viskositas, Komponen perpipaan dan laju alir fluida sehingga terjadinya kehilangan tekanan. Kehilangan Tekanan terbagi dua, yaitu kehilangan tekanan mayor dan kehilangan tekanan minor. Permukaan pipa yang dilalui fluida akan mengalami gesekan yang dimana gesekan ini akan membentuk nilai (faktor friksi) (Mardini, 2021; Rifaldi et al., 2022). Untuk itu maka telah dilakukan perhitungan kehilangan tekanan dari hasil pengamatan dan pengumpulan data yang terjadi pada proses pengolahan air demin dari *Portable Water Pound* menuju ke RO yang ditunjukkan pada Tabel 1. Dari Tabel 1 dapat diamati bahwa rata-rata debit aliran proses mencapai 20,8 m³/jam pada suhu 31,33 OC dan dengan panjang pipa lurus pada diameter 15 cm sebesar 4,0143 m sedangkan pada diameter 10 cm sebesar 25,3237 m. Selanjutnya berdasarkan pengamatan langsung dan

data pabrik maka telah ditabulasikan data perlengkapan pipa yang terpasang untuk diameter pipa 15 cm (Tabel 2) dan untuk diameter pipa 10 cm (Tabel 3). Data-data ini kemudian dilanjutkan perhitungannya untuk menentukan bilangan Reynolds, nilai kehilangan tekanan pada head loss mayor, head loss minor dan kehilangan tekanan akibat perbedaan ketinggian.

Tabel 1. Data Pengamatan Proses Pengolahan Air Demin

Percobaan	Debit Aliran Proses (m ³ /jam)	Panjang Pipa Lurus (m)		Suhu (°C)
		Diameter 15 cm	Diameter 10 cm	
1	21,7	4,0143	25,3237	32
2	20,7	4,0143	25,3237	31
3	20	4,0143	25,3237	31
$\bar{X}$	20,8	4,0143	25,3237	31,33

Tabel 2. Data Perlengkapan Pipa dengan Diameter 15 cm

No	Komponen Pada Diameter Pipa 15 cm	Jenis Pipa	Jumlah (Buah)	Ukuran (Inch)	k
1	Strainer Y	Galvanis	1	6,6	2,0
2	Elbow 90°	Galvanis	3	6,7	0,2
3	Globe Valve	Galvanis	1	6,8	0,35
4	Reducer 15 cm ke 10 cm	Galvanis	1	6,2	0,5

E.

Tabel 3. Data Perlengkapan Pipa dengan Diameter 10 cm

No	Komponen Pada Diameter Pipa 10 cm	Jenis Pipa	Jumlah (Buah)	Ukuran (Inch)	k
1	Elbow 90°	Galvanis	11	4,08	0,2
2	Elbow 45°	Galvanis	2	4,12	0,29
3	Globe Valve	Galvanis	1	4,41	0,35
4	Gate Valve	Galvanis	3	4,73	2,0
5	Percabangan (Tee)	Galvanis	1	4,02	1,0

Adapun hasil perhitungan yang diperoleh dapat ditabulasikan pada Tabel 4. Data menunjukkan bahwa rata-rata kecepatan aliran fluida untuk pipa dengan diameter 15 cm dan 10 cm masing-masing sebesar 0,3123 dan 0,624 m/s. Adapun faktor gesekan diperoleh sebesar 0,018 dan 0,02 untuk pipa dengan diameter 15 cm dan 10 cm. Maka diperoleh hasil kerugian atau kehilangan tekanan *head loss mayor* pada pipa dengan diameter 15 cm dan 10 cm masing-masing sebesar 0,0029 Pa dan 0,0997 Pa. Kehilangan tekanan pada pipa dengan diameter 10 cm lebih besar daripada pipa dengan diameter 15 cm mungkin disebabkan oleh kecepatan aliran fluida dan faktor gesekan yang lebih besar.

Tabel 4. Tabulasi Hasil Perhitungan Persamaan 1 dan 3

Percobaan	Kecepatan Aliran Fluida (m/s)		Faktor Gesekan Dari Diagram Moody		Kerugian <i>Head Loss</i> <i>Mayor</i> Pada Pipa (Pa)	
	δ 15 cm	δ 10 cm	δ 15 cm	δ 10 cm	δ 15 cm	δ 10 cm
1	0,3258	0,6510	0,018	0,02	0,0031	0,1084
2	0,3108	0,6210	0,018	0,02	0,0029	0,0986

3	0,3003	0,6000	0,018	0,02	0,0027	0,0920
$\bar{X}$	0,3123	0,624	0,018	0,02	0,0029	0,0997

Setelah diperoleh nilai kehilangan tekanan *head loss mayor* maka selanjutnya diperoleh nilai kerugian/kehilangan tekanan *head loss minor* yang ditabulasikan pada Tabel 5. Data perhitungan dari tabel 5 selanjutnya digunakan untuk menghitung total kehilangan tekanan selama proses pengolahan air demin menggunakan persamaan 6 dan hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 5. Tabulasi Hasil Perhitungan Persamaan 4

Kerugian Head Loss Minor Pada Komponen Perpipaan (Pa)									
No	δ 15 cm				δ 10 cm				
	Elbow 90°	Strainer Y	Globe Valve	Reducer	Elbow 90°	Elbow 45°	Globe Valve	Gate Valve	Percabangan
1	31,7048	101,4370	18,4944	26,4207	506,3438	112,3664	71,8418	1.265,8956	210,9766
2	28,8448	96,1493	16,8261	24,0373	460,6265	111,3180	67,1747	1.151,5664	191,9277
3	26,9287	89,7625	15,7084	22,4406	429,9998	103,9166	62,7083	1.074,9996	179,1666
$\bar{X}$	29,1594	95,7829	16,2673	24,2995	445,3132	107,6173	69,5083	1164,1539	179,1666

Tabel 6. Tabulasi Hasil Perhitungan Kehilangan Tekanan Total

No	Bilangan Reynolds (NRe)		Kerugian Tekanan dari Aliran Pipa Naik dan Turun (Pa)		Σ Total Kehilangan Tekanan (Pa)	Jenis Aliran
	δ 15 cm	δ 10 cm	Aliran Pipa Naik	Aliran Pipa Turun		
1	64.749,3564	91.534,9208	193.507,3572	(-189.367,9952)	323.982,5201	Turbulen
2	60.616,4320	85.688,4733	193.268,5732	(-189.502,9509)	323.312,7201	Turbulen
3	58.868,5796	82.790,7955	193.143,3864	(-189.628,1377)	322.852,7891	Turbulen
$\bar{X}$	61.411,46	86.671,40	193.306,43	-189.499,69	323.380,04	Turbulen

Besarnya tekanan yang hilang secara keseluruhan mencapai 323.380,04 Pa untuk kedua diameter pipa dan bilangan Reynolds untuk pipa dengan diameter 15 cm dan 10 cm masing-masing sebesar 61.411,46 dan 86.671,40 dengan jenis aliran turbulen. Aliran pipa yang semakin panjang terpasang dari sistem perpipaan maka kehilangan tekanan yang diperoleh akan semakin besar. Kehilangan tekanan pada pipa dengan diameter 15 cm dan 10 cm, dimana diameter pipa 15 cm memiliki total panjang pipa + *fitting* 5,0303 m, sedangkan diameter pipa 10 cm memiliki total panjang pipa + *fitting* 27,2228 m. Meskipun diameter pipa 15 cm lebih besar tetapi kehilangan tekanannya lebih kecil dari pipa diameter 10 cm. Hal ini dikarenakan faktor dari panjang pipa diameter 10 cm lebih panjang dari pipa berdiameter 15 cm. Semakin tinggi debit aliran yang diberikan maka semakin besar pula kehilangan tekanan yang terjadi di dalam perpipaan, baik itu adanya pembesaran aliran ataupun pengecilan aliran. Sama halnya dengan hubungan debit aliran antara bilangan Reynold. Bilangan Reynold berbanding lurus dengan debit aliran yang dimana semakin besar debit yang dibutuhkan untuk mentransfer fluida maka

semakin besar pula bilangan Reynold pada aliran tersebut atau dengan kata lain aliran semakin mengalami turbulensi.

Penelitian terkait dengan kehilangan tekanan juga telah dilaporkan pada objek aliran dua fasa air-karbon dioksida di bawah kondisi operasi pabrik. Tekanan yang hilang mencapai 4 kPa/m untuk laju aliran air dengan rentang 0,4 dan 0,7 L/S sedangkan untuk laju aliran karbondioksida dengan rentang 2,5 dan 11 L/S (Rajeb et al., 2018). Begitu juga dengan besarnya kehilangan tekanan pada filter media untuk sistem irigasi menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*) mencapai paling tinggi 6 kPa (Graciano-Urbe et al., 2021). Kehilangan tekanan juga telah diprediksi untuk menentukan efisiensi dari desain jalur pipa lumpur dengan hasil perhitungan mencapai 34 Pa dengan viskositas Bingham 0,079 Pa.s (Haldenwang et al., 2015).

F. SIMPULAN DAN SARAN

Ditinjau dari hasil dan analisis data penelitian maka dapat disimpulkan bahwa total kehilangan tekanan pada proses pengolahan air demin dari *Portable Water Pound* menuju *Reverse Osmosis* mencapai 323.380,04 Pa untuk kedua diameter pipa dan bilangan Reynolds untuk pipa dengan diameter 15 cm dan 10 cm masing-masing sebesar 61.411,46 dan 86.671,40 dengan jenis aliran turbulen. Semakin tinggi debit aliran yang diberikan maka semakin besar pula kehilangan tekanan yang terjadi di dalam perpipaan. Adapun saran yang dapat diberikan adalah pada sistem perpipaan sebaiknya pipa-pipa yang terpasang sering dilakukan pemeriksaan secara berkala agar terhindar dari pipa yang tersumbat, korosi dan kebocoran pipa sehingga pengaliran fluida pada saat proses berlangsung dengan lancar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dimas Fadillah Rahim (mahasiswa Prodi Teknik Kimia PTKI Medan) atas bantuannya selama proses penelitian berlangsung dan juga kerja sama dengan pihak pabrik PT. ABC Sumatera Utara.

REFERENSI

- Abbas, E. K. (2014). *Pressure Loss Prediction and Control Model For Water Treatment Units* [Thesis]. University Tun Hussein Onn Malaysia.
- Diasa, I. W., Soriarta, I. K., & Suryawan, I. B. G. (2019). Analisa Kehilangan Air (Non Revenued Water) Pada Jaringan Sistem Penyediaan Air Minum (Spam) Studi Kasus : Kecamatan Mengwi. *Gradien, Fakultas Teknik UNR*, 11(2), 1–19.
- Ginting, A. A. F. (2021). *Analisis Kehilangan Tekanan Aliran 2 Fasa Menggunakan Mekanistik Model untuk Pipa Vertical pada Sumur X dan Lapangan Y* [Skripsi]. Universitas Islam Riau.
- Graciano-Urbe, J., Pujol, T., Puig-Bargués, J., Duran-Ros, M., Arbat, G., & de Cartagena, F. R. (2021). Assessment of different pressure drop-flow rate equations in a pressurized porous media filter for irrigation systems. *Water (Switzerland)*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/w13162179>
- Haldenwang, R., Fester, V., Kotzé, R., & South Africa. Water Research Commission. (2015). *Pressure drop prediction for efficient sludge pipeline design : report to the Water Research Commission*.

- Jalaluddin, Akmal, S., Za, N., & Ishak. (2019). Analisa Profil Aliran Fluida Cair dan Pressure Drop pada Pipa L menggunakan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 8(2), 53–72. <http://ojs.unimal.ac.id/index.php/jtk>
- Lahin, F. A., Sarbatly, R., & Chel-Ken, C. (2021). Point-of-use upflow sand filter for rural water treatment using natural local sand: Understanding and predicting pressure drop. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1192(1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1192/1/012008>
- Mardini, Z. (2021). Pengaruh Losses / Pressure Drop Pada Sistem Perpipaan Header Pompa Dalam Menentukan Spesifikasi Pengadaan Pompa Distribusi. *Jurnal Rekayasa*, 11(02), 183–192.
- Putri, D. D. S., & Purnomo, A. (2023). Kajian Instalasi Pengolahan Air Demineralisasi dari Nalco Water an Ecolab Company. *Jurnal Teknik ITS*, 12(2), D123–D128.
- Rajeb, F. Ben, Rahman, M. A., Zhang, Y., Imtiaz, S., Aborig, A., & Odan, M. (2018). Pressure loss of water-CO₂ two-phase flow under different operating conditions. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 120, 263–273. <https://doi.org/10.2495/AFM180271>
- Rifaldi, A. M., Ramli, I., & Arif Munawar, A. (2022). Analisis Kehilangan Tekanan Air pada Jaringan Perpipaan dalam Rangka Menuju Kampus Hijau Universitas Syiah Kuala menggunakan Software EPANET 2.2. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(4). www.jim.unsyiah.ac.id/JFP
- Sanjaya, R. (2021). *Analisis Pressure Loss pada Pipa Salur Terhadap Laju Produksi dengan Metode Orkiszewski dan Analisis Nodal di Sumur X Lapangan Y* [Skripsi]. Universitas Islam Riau.
- Sefentry, A., & Masriatini, R. (2020). Pemanfaatan Teknologi Membran Reverse Osmosis (RO) Pada Proses Pengolahan Air Laut menjadi Air Bersih. *Jurnal Redoks*, 5(1), 58. <https://doi.org/10.31851/redoks.v5i1.4128>
- Simatupang, D. F., & Ramadhani. (2021). Penentuan Kebutuhan Injeksi Ammonia untuk Meningkatkan pH pada Air Umpan Boiler : Studi Kasus di PT . XYZ Sumatera Utara. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 1(5), 187–191. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.42>
- Simatupang, D. F., Saragih, G., & Siahaan, M. (2021). Pengaruh Dosis Aluminium Sulfat Terhadap Kekeruhan dan Kadar Besi Air Baku pada IPA PDAM X. *REACTOR: Journal of Research on Chemistry and Engineering*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.52759/reactor.v2i1.13>
- Simatupang, D. F., Yunianto, & Sihalo, E. D. W. (2021). Analisa Kebutuhan Batu Bara pada Unit Dryer dalam Pengeringan Pupuk NPK di PT AGS Medan. *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, 4(1), 11–17. <https://doi.org/10.25273/cheesa.v4i1.7830.11-17>
- Sumada, K. U. (2018). *Demineralisasi Air dan Metode Demineralisasi Air*. Unggul Pangestu Niwmana.
- Suryani, F., Madagaskar, & Moulita, R. A. N. (2022). Analisis Pengaruh Waktu Dan Tekanan Terhadap Demineralisasi Air Buangan AC Dengan Metode Reverse Osmosis. *Jurnal Redoks*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.31851/redoks.v7i1.7924>
- Sutopo, E. H. (2019). Proses Demineralisasi Air Tanah Menjadi Air TDS 0 ppm Menggunakan Metode Resin Penukar Ion Tunggal (Single Ionic Resin Exchange Method). *JIPTEK: Jurnal Inovasi Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 1(1), 44–50.
- Tukiman, Santoso, P., & Satmoko, A. (2013). Perhitungan dan Pemilihan Pompa pada Instalasi Pengolahan Air Bebas Mineral Irradiator Gamma 200 kCi. *PRIMA*, 10(2), 51–60.
- Viccione, G., & Evangelista, S. (2017). Head loss induced by filter cartridges in drinking water networks. Head losses induced by filter cartridges in drinking water networks. *15th International Conference on Environmental Science and Technology*, 1–6. <https://www.researchgate.net/publication/326573223>
- Widarti, S. (2015). Pengaruh Laju Alir Terhadap Efisiensi Kolom Resin Penukar Kation Komersil Dan Adsorpsi Ion Logam Berbeda Muatan. *Sigma-Mu*, 7(1), 1–6.