

EVALUASI PERFORMA RESIN GUNA MENINGKATKAN EFISIENSI PROSES DEMINERALIZER PLANT PADA UNIT UTILITIES HDC

Munik Maelani¹, Herry Purnama^{1*}, Hanif Mubarok²

¹Program Studi Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Surakarta

²PT Kilang Pertamina Internasional RU II Dumai, Riau

E-mail: hp269@ums.ac.id

Abstract

Water availability and quality in utility units play a crucial role in supporting the smooth operation and production efficiency in industrial settings. The demineralizer plant is an essential unit in water treatment plants responsible for producing demineralized water according to operational standards. This study aims to evaluate resin performance to improve the efficiency of the demineralizer plant process at the Utilities HDC #940 Unit. The methodology involves evaluating total cation and anion ions in treated raw water against the actual Total Exchange Capacity (TEC) of the resin, as well as calculating operational costs of demineralized water production. Data collection was conducted through field measurements at Dumai oil refinery in September 2025. The results showed that the design TEC for cation exchanger was 12,000 eq with a design ion load of 2.7232 eq/m³, while the actual ion load was 0.2381 eq/m³. For anion exchanger, the design TEC was 15,400 eq with a design ion load of 1.1240 eq/m³ and actual ion load of 0.3482 eq/m³. Under actual conditions, demin flow and service time were 153 m³/h and 27 hours respectively, compared to design values of 180 m³/h and 24 hours. From the monthly production of 323,305.46 m³ of demineralized water at a selling price of Rp 20,000, total revenue reached Rp 6,466,109,211. Total actual operational costs of Rp 2,175,091,643 generated an operational margin of Rp 4,291,017,567 per month, demonstrating net profit from actual production conditions.

Keywords: Demineralizer; Ion Exchange; Operational Cost; Resin Performance; Water Treatment

Abstrak

Ketersediaan dan kualitas air di unit utilitas memegang peranan penting dalam mendukung kelancaran dan efisiensi operasional produksi di industri. Demineralizer plant adalah salah satu unit penting dalam water treatment plant yang bertugas menghasilkan air demineralisasi sesuai standar operasional. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi performa resin guna meningkatkan efisiensi proses demineralizer plant pada Unit Utilities HDC #940. Metodologi penelitian meliputi evaluasi total ion kation dan anion pada air baku yang diolah terhadap Total Exchange Capacity (TEC) aktual resin serta menghitung operasional cost produksi demin water. Pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran lapangan di Kilang Minyak di Dumai pada September 2025. Hasil penelitian menunjukkan bahwa TEC desain untuk cation exchanger sebesar 12.000 eq dengan beban ion desain 2,7232 eq/m³, sedangkan beban ion aktual sebesar 0,2381 eq/m³. Untuk anion exchanger, TEC desain sebesar 15.400 eq dengan beban ion desain

1,1240 eq/m³ dan beban ion aktual 0,3482 eq/m³. Pada kondisi aktual, flow demin dan service time masing-masing 153 m³/jam dan 27 jam, sedangkan pada desain 180 m³/jam dan 24 jam. Dari produksi air demin sebesar 323.305,46 m³ per bulan dengan harga jual Rp 20.000, diperoleh total revenue sebesar Rp 6.466.109.211. Total biaya operasional aktual sebesar Rp 2.175.091.643 menghasilkan margin operasional sebesar Rp 4.291.017.567 per bulan, menunjukkan keuntungan bersih dari kondisi produksi aktual.

Kata Kunci: Demineralisasi; Pertukaran Ion; Biaya Operasi; Performa Resin; Pengolahan Air.

1. Pendahuluan

Unit utilitas atau unit penunjang proses merupakan bagian yang sangat krusial dalam suatu industri karena berperan langsung dalam menjamin kelancaran serta kontinuitas operasi pabrik. Unit ini umumnya mencakup berbagai sistem pendukung, antara lain sistem pembangkit listrik, penyediaan udara tekan melalui kompresor, deaerator, sistem pembangkitan uap (*steam*), serta *Water Treatment Plant* (WTP) yang berfungsi menyediakan air sesuai kebutuhan proses [1]. Air yang tidak memenuhi standar kualitas dapat menurunkan kinerja peralatan, meningkatkan risiko korosi, serta menimbulkan endapan yang merusak sistem perpipaan dan proses produksi. Oleh karena itu, pengolahan air menjadi tahap kritis dalam unit utilitas, terutama untuk menghasilkan air demineralisasi (*demin water*) yang memiliki kandungan kation dan anion sangat rendah.

Demineralisasi merupakan teknologi pengolahan air yang bertujuan menghilangkan hampir seluruh mineral terlarut melalui proses pertukaran ion [2]. *Demin water* merupakan air yang telah diolah untuk menghilangkan kation dan anion terlarut seperti Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Fe³⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, dan CO₃²⁻. Air ini digunakan secara luas pada sektor industri, terutama sebagai air umpan boiler pada pembangkit listrik tenaga uap dan sebagai air utilitas di pabrik produksi. Ketersediaan demin water sangat krusial karena gangguan suplai dapat menyebabkan terhentinya proses produksi. Setelah melalui proses pengolahan, demin water dimanfaatkan sebagai air proses, baik untuk sistem pendingin maupun sebagai air umpan boiler yang selanjutnya dikonversi menjadi uap untuk sirkulasi panas [3].

Dalam proses ini, resin penukar ion memiliki peran yang sangat penting. Resin penukar ion merupakan senyawa hidrokarbon terpolimerisasi yang memiliki gugus aktif untuk mempertukarkan ion. Saat air kontak dengan resin, ion terlarut diserap dan digantikan oleh ion lain dalam jumlah ekuivalen sesuai mekanisme pertukaran yang diinginkan [4]. Pertukaran ion ini tidak hanya menentukan kualitas air, tetapi juga mempengaruhi durabilitas alat proses serta efisiensi keseluruhan proses. Jenis resin yang digunakan meliputi resin kation asam kuat, resin kation asam lemah, resin anion basa kuat, dan resin anion basa lemah. Kinerja resin dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk pH air, kecepatan air, konsentrasi ion terlarut, tinggi media penukar ion, dan suhu operasi [5].

Namun demikian, kemampuan resin penukar ion dalam menyerap ion pengotor memiliki batasan sehingga seiring waktu resin akan mengalami kejenuhan dan penurunan efektivitas. Kondisi ini menyebabkan perlunya proses regenerasi untuk mengaktifkan kembali gugus fungsi resin [6]. Proses regenerasi dilakukan melalui

beberapa tahapan yang masing-masing dijalankan berdasarkan *preset time* yang telah ditetapkan. Selama proses ini diperlukan suplai air demineralisasi serta *chemical inject* berupa *Acid* (H_2SO_4) untuk regenerasi resin kation dan *Caustic* (NaOH) untuk regenerasi resin anion, dengan dosis dan volume yang disesuaikan dengan kebutuhan operasi [7]. Dalam pelaksanaannya, keberhasilan regenerasi sangat ditentukan oleh pengendalian kondisi operasi, khususnya konsentrasi regenerasi, karena konsentrasi yang tidak tepat dapat mengakibatkan regenerasi tidak sempurna, pemborosan bahan kimia, atau degradasi resin [8].

Evaluasi performa resin secara berkala menjadi langkah penting untuk memastikan *demineralizer plant* beroperasi optimal, memperpanjang umur resin dan peralatan, serta menekan biaya operasional. Berdasarkan hal tersebut, dilakukan evaluasi performa resin guna meningkatkan efisiensi proses *demineralizer plant* pada Unit Utilities HDC #940, sehingga mendukung kelancaran operasional dan kualitas produksi yang lebih baik.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Unit Utilities HDC #940, PT. Kilang Pertamina Internasional *Refinery Unit* (RU) II Dumai, Provinsi Riau. Pengambilan data primer dilakukan pada tanggal 30 September 2025. Dalam penelitian ini, data primer diperoleh melalui pengukuran kinerja resin di lapangan, yang mencakup: (1) Parameter hasil analisis pada Filter Water Tank di unit utilitas pabrik; (2) Hasil analisis rutin dari laboratorium; (3) Prosedur regenerasi sistem demineralisasi HDC bulan September 2025. Data sekunder diperoleh dari *Operating Manual Amberlite*, studi literatur, Data Sheet Resin oleh Manufaktur, serta Buku Saku Pekerja: Production RU II Dumai. Data tersebut dimanfaatkan dalam berbagai perhitungan, antara lain: (1) Perhitungan total ion (kation dan anion); (2) Perhitungan kapasitas dan data vessel pada kation exchanger dan anion exchanger; (3) Perhitungan efisiensi penggunaan air serta bahan kimia.

Adapun, pengolahan datanya dengan menghitung kinerja resin pada *Demineralizer Plant* di *Unit Utility* yang dimulai dengan pengumpulan data primer dan sekunder yang diperlukan. Setelah itu, dilakukan perhitungan dan pengolahan data beban ion pada resin kation dan anion, total jumlah ion pada resin kation dan anion, volume total resin kation dan anion, serta estimasi biaya yang diperlukan untuk proses regenerasi, lalu berbagai perhitungannya adalah sebagai berikut:

- a Perhitungan Total Ion

$$\frac{meq}{l} = \frac{mg}{l} \times \frac{Valensi}{Berat Atom} \quad (1)$$

- b Perhitungan Data Vessel Kation dan Anion Exchanger

$$Total\ Liter = Flow\ Denim \left(\frac{m^3}{jam} \right) \times Total\ Hari\ Regenerasi \times 24\ jam \quad (2)$$

- c Menghitung Service Time

$$Service\ Time = \frac{Total\ Volume\ Air\ (m^3)}{Flow\ Rate\ \left(\frac{m^3}{h} \right)} \quad (3)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Proses demineralisasi merupakan tahapan penghilangan garam-garam mineral yang terkandung di dalam air sehingga menghasilkan air dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Air demineralisasi atau air demin adalah air yang telah melalui proses pemisahan

mineral mineral yang ada di dalamnya, sehingga hampir tidak mengandung zat mineral. Dalam dunia industri, keberadaan kontaminan berupa mineral dalam air menjadi hal yang penting untuk diperhatikan karena dapat menimbulkan berbagai permasalahan, seperti terjadinya korosi, pembentukan kerak, hingga carry over pada sistem peralatan [9].

Tabel 1. Hasil Evaluasi perhitungan Beban Kation dan Anion terhadap total exchange capacity design.

No.	Tipe Resin	TEC Design (eq)	Beban Ion (eq/m ³)	
			Desain	September 2025
1.	Kation Tipe DuPont™ AmberLite™ HPR4800 Cl Ion Exchange Resins	12000	2,7232	0,2381
2.	Anion Tipe DuPont™ AmberLite™ HPR1100 Na Ion Exchange Resins	15400	1,1240	0,3482

Tabel 2. Hasil Evaluasi performa resin terhadap parameter desain dan aktual

No.	Parameter Evaluasi	TEC Design (eq)	Aktual
1.	Service Time (jam)	24	27
2.	Flowrate (m ³ /jam)	180	153
3.	Kation Tipe DuPont™ AmberLite™ HPR4800 Cl (L)	94,044	104,000
4.	Anion Tipe DuPont™ AmberLite™ HPR1100 Na (L)	181,319	200,000

Demineralisasi bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan kandungan mineral dalam air agar air yang digunakan untuk keperluan proses menjadi lebih murni. Kandungan mineral yang tinggi dalam air proses dapat berdampak negatif terhadap kinerja proses itu sendiri, misalnya munculnya produk samping yang tidak diinginkan pada reaksi kimia, serta terbentuknya kerak yang dapat mempercepat laju korosi pada peralatan perpindahan panas seperti boiler.

Tabel 3. Syarat Air Boiler Feed Water

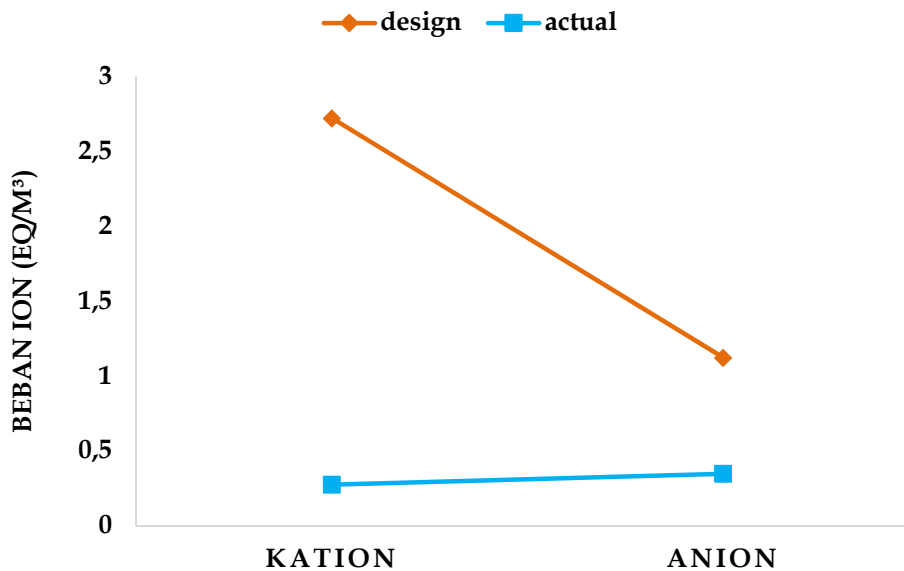
No.	Parameter	Feed Kation	Outlet Kation	Outlet Anion	Boiler Feed Water
1.	pH (25°C)	-	2 - 4	8,5 ± 0,6	8,0 - 9,5
2.	Conductivity (µmhos/cm)	-	-	< 10	< 20
3.	Chlorides (mg/l)	-	-	-	< 4
4.	Silica (mg/l)	-	-	< 0,3	< 0,3
5.	Besi (mg/l)	-	< 0,02	< 0,02	< 0,025
6.	Hardness	-	< 0,05	-	< 0,5

Oleh karena itu, melalui proses demineralisasi, mineral dalam air dapat direduksi sesuai standar yang ditentukan sehingga efek merugikan tersebut dapat diminimalkan atau dihilangkan [10].

3.1 Perbandingan Beban Ion kation dan anion pada kondisi Desain dan Aktual

Beban ion adalah istilah yang digunakan untuk menjelaskan kemampuan resin penukar

ion dalam menangkap dan mengikat ion-ion yang terlarut dalam air. Kapasitas ini biasanya dinyatakan dalam miligram per gram (mg/g) atau ekuivalen per meter kubik (eq/m³), yang menunjukkan jumlah ion yang dapat diikat oleh satu gram resin. Perbandingan beban ion kation dan anion pada kondisi *design* dan *actual* pada bulan September 2025 ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan beban ion kation dan anion pada kondisi *design* dan *actual*

Berdasarkan Gambar 1, beban ion desain untuk kation *exchanger* tercatat sebesar 2,7232 eq/m³, sedangkan untuk anion *exchanger* sebesar 1,1240 eq/m³. Sementara itu, beban ion aktual yang diperoleh dari hasil pengukuran bulan September 2025 hanya sebesar 0,2381 eq/m³ pada kation *exchanger* dan 0,3482 eq/m³ pada anion *exchanger*. Terlihat bahwa beban ion aktual jauh lebih rendah dibanding desain. Perbedaan ini terjadi karena nilai beban ion desain dihitung berdasarkan kondisi teoritis yang ideal, sedangkan data aktual mencerminkan kondisi operasi nyata di lapangan. Selain itu, air umpan di lapangan memiliki kandungan ion yang lebih rendah dibanding asumsi desain, sehingga resin tidak bekerja secara maksimal sesuai kapasitas desainnya.

Jumlah resin yang digunakan bergantung pada tingkat beban ion yang terkandung dalam air. Beban ion 32ctual diperoleh melalui pengujian laboratorium terhadap air masuk setiap bulan, sedangkan beban ion desain ditentukan oleh karakteristik gugus fungsi pada matriks resin. Nilai beban ion ini dapat berubah sesuai dengan kondisi sumber air. Kapasitas pertukaran ion menunjukkan jumlah ion yang dapat diganti oleh resin per satuan massa atau volume. Dengan meningkatnya volume resin, kemampuan pertukaran ion juga bertambah, sehingga konsentrasi ion dalam air demineralisasi menjadi lebih rendah.

3.2 Perbandingan Service Time dan Total Produksi

Untuk mengevaluasi kinerja sistem demineralisasi di PT Kilang Pertamina Internasional Refinery Unit II Dumai, salah satu parameter utama yang dianalisis adalah *service time*, karena memengaruhi jumlah air demin yang dapat diproduksi sebelum resin perlu diregenerasi. Berdasarkan perhitungan desain, *service time* yang direncanakan adalah 24 jam, dengan perkiraan total produksi sebesar 4.320 m³. Sedangkan hasil pengukuran

menunjukkan *service time* aktual rata-rata mencapai 27 jam. Sistem demineralisasi yang terdiri dari 4 *train* ini beroperasi dengan rata-rata 20 siklus per bulan. Peningkatan *service time* ini berdampak langsung pada total produksi air demineralisasi, sehingga selama satu bulan total volume air demin yang dihasilkan mencapai 323.305 m³, jauh melebihi estimasi berdasarkan desain. *Service time* yang lebih tinggi menunjukkan resin digunakan secara lebih optimal, mengurangi frekuensi regenerasi dan pemakaian *chemical*. Dengan demikian, sistem mampu menghasilkan lebih banyak air sebelum resin perlu diganti, sekaligus meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan.

3.3 Perhitungan Margin Operasional Cost pada *Actual* Produksi Demin Water
Perhitungan biaya operasional dan margin dilakukan berdasarkan kondisi aktual produksi air demin pada sistem *Demineralizer Plant* PT. Kilang Pertamina Internasional *Refinery Unit II Dumai*. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui besarnya operasional cost pada proses regenerasi serta margin keuntungan yang diperoleh selama periode operasi satu bulan.

Tabel 4. Analisis Revenue, Operational Cost, dan Margin Produksi Air Demineral

No.	Komponen	Nilai
1.	Produksi demin	323.305,46 m ³
2.	Harga produk demin	Rp. 20.000
3.	Revenue	Rp. 6.466.109.211
	Operation Cost	
1.	<i>Filtered Water</i>	Rp. 7.891.643
2.	<i>Acid</i>	Rp. 187.200.000
3.	<i>Caustic</i>	Rp. 1.980.000.000
	Total Operation Cost	Rp. 2.175.091.643
	Margin	Rp. 4.291.017.567

Berdasarkan Tabel 4. total produksi air demin selama satu bulan yaitu sebesar 323.305,46 m³ dengan harga jual Rp 20.000, sehingga diperoleh total *revenue* sebesar Rp 6.466.109.211. Biaya operasional aktual terdiri dari penggunaan *filtered water* Rp. 7.891.643, *acid* sebesar Rp 187.200.000, dan *caustic* sebesar Rp 1.980.000.000, sehingga total biaya operasional mencapai Rp 4.685.739.167. Selisih antara total *revenue* dan total biaya operasional menghasilkan margin operasional sebesar Rp. 4.291.017.567 per bulan, yang menggambarkan keuntungan bersih dari operasi produksi air demin. Perhitungan ini memberikan gambaran mengenai kinerja ekonomi sistem demineralizer berdasarkan kondisi aktual produksi, mencakup total *revenue*, biaya operasional, dan margin yang dihasilkan dari kegiatan produksi aktual.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil data pengamatan yang diperoleh, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: (1) Kinerja resin dievaluasi berdasarkan *Total Exchange Capacity* (TEC), beban ion, *flow demin*, dan *service time*. Untuk *cation exchanger* TEC desain yaitu sebesar 12.000 eq dengan beban ion desain 2,7232 eq/m³ dan beban ion aktual bulan September 2025 adalah 0,2756 eq/m³. Untuk *anion exchanger* TEC desain yaitu sebesar 15.400 eq dengan beban ion desain 1,1240 eq/m³ dan beban ion aktual adalah 0,3482 eq/m³. Pada kondisi aktual, *flow demin* dan *service time* masing-masing 153 m³/jam dan 27 jam, sedangkan pada desain 180 m³/jam dan 24 jam; (2) Dari produksi air demin sebesar 323.305,46 m³ per bulan dengan harga jual Rp 20.000, diperoleh total *revenue* sebesar Rp

6.466.109.211. Total biaya operasional aktual sebesar Rp2.175.091.643,76 menghasilkan margin operasional sebesar Rp4.291.017.567,34 per bulan, menunjukkan keuntungan bersih dari kondisi produksi aktual.

Adapun, saran dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut: (1) Melakukan peninjauan dan penyesuaian *service time* dan siklus regenerasi resin berdasarkan data aktual beban ion, untuk menjaga kapasitas tukar resin tetap optimal sekaligus mengontrol konsumsi chemical dan kebutuhan air secara efisien; (2) Melakukan monitoring rutin terhadap penggunaan *filtered water, acid, caustic, dan flow demin*. Dengan pengawasan ini, dosis *chemical* dapat disesuaikan sesuai kondisi operasi nyata, sehingga biaya operasional tetap terkendali dan margin produksi dapat dipertahankan.

Referensi

- [1] Sahuburua, F., Putria, I., Rahman, A., & Fadlil, F. (2025). Evaluasi Neraca Massa Total Desain Dan Aktual Di Water Treatment Plant (Wtp) Pt. X. *Agitasi: Jurnal Teknik Kimia*, 5(1), 15-20.
- [2] Kamal, D. F. (2023). Proses Demineralisasi Pada Unit Pengolahan Air Di Pabrik Utility 1-A Pt. Pupuk Kujang Cikampek. *Jurnal SIGMAT Teknik Mesin UNSIKA*, 3(1), 34-41. doi: : <https://doi.org/10.35261/sigmat.v3i1.9863>
- [3] Rahminar, A., Sudarminto, H. P., & Taufiki, R. (2022). Analisis Perbaikan (Pemanfaatan) Kembali Produk Demin Water Off Spec Sebagai Ltw. *Jurnal Teknologi Separasi*. 8(9), 254-260.
- [4] Shahab, A., & Setiorini, I. A. (2023). Efektifitas Volume Resin Ion Exchanger Terhadap Kapasitas Pertukaran Ion Dan Waktu Jenuh Pada Unit Demin Plant Di Pt Pln (Persero) Updk Keramasan. *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 2(9), 3791-3802. doi: <https://doi.org/10.53625/jirk.v2i9.5407>
- [5] Kosim, M. E., Prambudi, D., & Siskayanti, R. (2021). Analisis Efisiensi Penukar Ion Sistem Demineralisasi Pada Pengolahan Air di Proses Produksi Electroplating. *Prosiding Semnastek*.
- [6] Visca, R., & Anggono, B. (2025). Performansi Resin Penukar Ion Pada Sistem Mixed Bed Demineralisasi di Industri Farmasi. *Jurnal Pendidikan Indonesia*, 6(8), 4020-4028. doi: <https://doi.org/10.59141/japendi.v6i8.8550>
- [7] Amim, M. M., Rulianah, S., & Yulianto, E. (2024). Efektivitas Perubahan Setting Waktu Step Rinsing Pada Proses Regenerasi Mixed Bed Di Water Treatment Plant Unit 7,8 PT. POMI. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 10(1), 91-102. doi: <https://doi.org/10.33795/distilat.v10i1.4876>
- [8] Gettongsong, T., Taseidifar, M., & Pashley, R. M. (2021). New Resins for Ion Exchange Applications and a Process for Their Sustainable Regeneration. *Substantia*, 4(2), 33-37. doi: <https://doi.org/10.36253/Substantia-824>
- [9] Akbar, D. R., Kuspambudijaya, A. D., & Utami, I. (2020). Demineralisasi Air Ac Dengan Membrane Reverse Osmosis. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(1), 28-33. doi: https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v15i1.2300

[10] N. Nuryoto, R. Hartono, and R. Rahmayetty. (2024). Pengolahan Air Menggunakan Proses Demineralisasi dengan Memanfaatkan Resin Penukar Ion: Studi Pengaruh Laju Alir dan Tinggi Resin. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 22(2),393-400. doi: <https://doi.org/10.14710/jil.22.2.393-400>