



Analisisa *Head Losses* pada *Design Interconnection Pipe Sistem Reverse Osmosis* PLTU 2 Labuan dan Keuntungan bagi Perusahaan

Hardiman Wahyu Hidayat^{1*}, Althesa Androva², Muhamad Safii³

¹⁻³ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Semarang, Indonesia

Email: whidayat308@gmail.com^{1*}, althesaandrova@upgris.ac.id², muhammadsafii@upgris.ac.id³

*Penulis Korespondensi: whidayat308@gmail.com

Abstract. *Water Treatment Plant is a water treatment unit into water that meets the requirements in accordance with the needs of the generating unit. In PLTU Banten 2 Labuan for water treatment plant has two main processes namely seawater pretreatment (purification) and reverse osmosis (purification). Reverse osmosis is a water purification process by providing hydrostatic pressure on the feed water so that it can penetrate permeable membrane cells and produce pure water. Inside the water treatment plant is primarily RO (primary primer RO). Cartridge filters are used to filter impurities or particles contained in activated carbon filter water which can damage or block the membrane RO. While HPP Primary RO is used to drain raw water from cartridge to primary RO. This Final Project is made based on the findings of field problems when the filter change at cartridge A while at the same time pump ready to operate HPP primary RO B due to HPP primary RO A is damaged or is undergoing improvement and vice versa at the time of change of filter at cartridge B pump ready to operate HPP primary RO A. Problems caused when the filter change in the cartridge cause the production of demin water must be stopped because the reverse osmosis system must stop. For that in this case then I choose the title of Final Project "Designing Interconnection Pipe to add reliability Reverse Osmosis System in PLTU Banten 2 Labuan". With the addition of Interconnection Pipe aims to anticipate the reverse osmosis stop system when the filter change in the cartridge and HPP repair RO. This will reduce the financial loss caused by the unit must be daerating (down load).*

Keywords: *Daerating; Demineralized Water Production; Interconnection; Reverse Osmosis; Water Treatment Plant (WTP).*

Abstrak. *Water Treatment Plant merupakan unit pengolahan air menjadi air yang memenuhi persyaratan sesuai dengan kebutuhan unit pembangkit. Di PLTU Banten 2 Labuan, Water Treatment Plant memiliki dua proses utama, yaitu seawater pretreatment (pemurnian air laut) dan reverse osmosis (pemurnian air). Reverse osmosis adalah proses pemurnian air dengan memberikan tekanan hidrostatis pada air umpan sehingga dapat menembus membran semipermeabel dan menghasilkan air murni. Pada sistem Water Treatment Plant, komponen utama yang digunakan adalah Primary RO. Cartridge filter digunakan untuk menyaring kotoran atau partikel yang masih terkandung dalam air hasil activated carbon filter yang dapat merusak atau menyumbat membran RO. Sementara itu, High Pressure Pump (HPP) Primary RO digunakan untuk mengalirkan air baku dari cartridge filter menuju Primary RO. Tugas Akhir ini disusun berdasarkan temuan permasalahan di lapangan saat dilakukan penggantian filter pada cartridge A ketika pompa yang siap beroperasi adalah HPP Primary RO B karena HPP Primary RO A mengalami kerusakan atau sedang dalam proses perbaikan, dan sebaliknya saat penggantian filter pada cartridge B ketika pompa yang siap beroperasi adalah HPP Primary RO A. Permasalahan tersebut menyebabkan produksi air demineralisasi (demin water) harus dihentikan karena sistem reverse osmosis tidak dapat beroperasi. Oleh karena itu, Tugas Akhir ini mengambil judul "Perancangan Pipa Interkoneksi untuk Meningkatkan Keandalan Sistem Reverse Osmosis di PLTU Banten 2 Labuan". Penambahan pipa interkoneksi bertujuan untuk mengantisipasi penghentian sistem reverse osmosis saat dilakukan penggantian filter pada cartridge maupun perbaikan HPP RO. Implementasi rancangan ini diharapkan dapat mengurangi kerugian finansial yang disebabkan oleh unit yang harus mengalami derating (down load).*

Kata kunci: *Derating; Interkoneksi; Produksi Air Demineralisasi; Reverse Osmosis; Water Treatment Plant (WTP).*

1. LATAR BELAKANG

Ketersediaan air demineralisasi merupakan salah satu faktor kritis dalam menjaga kontinuitas operasi pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), khususnya pada sistem boiler dan pendingin yang membutuhkan kualitas air dengan tingkat kemurnian tinggi (Rizqi et al., 2024; Rafi et al., 2025; Son Haji et al., 2024). Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi reverse osmosis (RO) menjadi metode yang paling banyak digunakan pada industri pembangkitan listrik karena memiliki efisiensi pemisahan garam yang tinggi serta konsumsi energi yang relatif lebih rendah dibandingkan teknologi konvensional lainnya. Namun demikian, sistem RO pada industri pembangkitan masih menghadapi berbagai permasalahan operasional, seperti fouling, scaling, fluktuasi tekanan, serta kehilangan energi akibat head loss pada jaringan perpipaan. Kondisi tersebut dapat menurunkan performa produksi permeate dan meningkatkan beban kerja pompa bertekanan tinggi (Samuel et al., 2025). Penelitian oleh (Zaidi et al., 2021) menunjukkan bahwa fouling dan penurunan tekanan pada sistem RO industri dapat menyebabkan penurunan efisiensi operasi dan peningkatan biaya pemeliharaan secara signifikan. Selain itu, model operasi RO skala penuh yang dikembangkan oleh (Gaublomme et al., 2020) menjelaskan bahwa variasi karakteristik aliran dan pressure drop dalam sistem perpipaan menjadi faktor utama yang memengaruhi stabilitas operasi membran RO. Oleh karena itu, analisis head loss dalam desain interconnection pipe menjadi aspek penting untuk meningkatkan keandalan sistem RO pada PLTU.

Secara global, peningkatan kebutuhan energi dan air industri mendorong penggunaan sistem desalinisasi berbasis membran dalam skala besar. Teknologi RO saat ini mendominasi lebih dari 70% sistem desalinisasi dunia karena dianggap lebih ekonomis dan efisien energi dibandingkan thermal desalination. Akan tetapi, konsumsi energi pompa tekanan tinggi pada sistem RO masih menjadi tantangan utama, terutama akibat losses pada sistem perpipaan dan konfigurasi aliran (Adhisa et al., 2023). Penelitian (Li, 2020) menjelaskan bahwa distribusi tekanan dan fluks yang tidak seragam pada sistem RO dapat meningkatkan specific energy consumption (SEC) dan menurunkan efisiensi operasi sistem. Pada sektor pembangkit listrik, kondisi tersebut menjadi lebih krusial karena kegagalan suplai air demineralisasi dapat berdampak langsung terhadap derating unit bahkan shutdown pembangkit (I Kadek Dwi et al., 2026). Di Indonesia, beberapa PLTU mulai menerapkan sistem multistage reverse osmosis untuk meningkatkan recovery rate dan efisiensi pengolahan air. Penelitian (Teguh Sasono et al., 2020) pada sistem BWRO PLTU Cilacap menunjukkan bahwa desain konfigurasi perpipaan dan pembagian stage memengaruhi reliability sistem serta performa tekanan operasi

. Hal ini menunjukkan bahwa optimasi sistem perpipaan interkoneksi memiliki peranan strategis dalam menjaga kontinuitas operasi PLTU.

Dalam konteks lokal, sistem reverse osmosis di PLTU Banten 2 Labuan menghadapi tantangan berupa penurunan tekanan aliran pada jalur interconnection pipe yang menghubungkan unit-unit pengolahan air. Besarnya head loss yang terjadi menyebabkan distribusi tekanan menjadi tidak optimal sehingga memengaruhi debit aliran menuju membran RO. Kondisi ini dapat mengurangi kapasitas produksi permeate serta meningkatkan konsumsi daya pompa. Selain itu, konfigurasi perpipaan yang belum mempertimbangkan secara detail friction loss dan minor loss berpotensi menimbulkan ketidakseimbangan distribusi aliran antar unit. Penelitian sebelumnya umumnya lebih berfokus pada performa membran, konsumsi energi, atau optimasi recovery system, sedangkan kajian mengenai pengaruh desain interconnection pipe terhadap keandalan sistem RO pada lingkungan PLTU masih relatif terbatas. Penelitian (Di Pasquale et al., 2023) menegaskan bahwa interaksi antara karakteristik aliran, pressure drop, dan permeabilitas sistem sangat memengaruhi keberlanjutan operasi reverse osmosis . Namun demikian, penelitian tersebut belum secara spesifik membahas analisis head loss pada sistem perpipaan interkoneksi industri pembangkit listrik. Dengan demikian, masih terdapat research gap terkait hubungan antara desain interconnection pipe, nilai head loss, keandalan sistem reverse osmosis pada PLTU dan keuntungan yang didapat perusahaan.

Berdasarkan penelitian terdahulu, sebagian besar studi hanya menitikberatkan pada optimasi membran dan efisiensi energi tanpa mengintegrasikan analisis hidraulik perpipaan secara komprehensif. (Veerman, 2020) meneliti optimasi konfigurasi aliran pada sistem membran multistage untuk meningkatkan efisiensi energi, tetapi belum mengkaji dampak detail kehilangan tekanan pada jaringan perpipaan penghubung . Sementara itu, penelitian (Mehdizadeh et al., 2020) lebih menyoroti pengaruh pretreatment terhadap performa reverse electro dialysis tanpa membahas aspek reliability akibat losses hidraulik . Keterbatasan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa analisis kuantitatif mengenai head loss pada interconnection pipe masih belum banyak dilakukan, khususnya dalam aplikasi sistem reverse osmosis PLTU. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki kontribusi ilmiah dalam mengintegrasikan pendekatan mekanika fluida dengan evaluasi keandalan sistem RO melalui analisis major losses dan minor losses pada desain interconnection pipe (Rizka Nur Faila, 2023). Pendekatan tersebut diharapkan mampu memberikan dasar teknis dalam perancangan sistem perpipaan yang lebih efisien dan andal pada industri pembangkitan tenaga listrik.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besarnya head loss pada perancangan interconnection pipe guna meningkatkan keandalan sistem reverse osmosis di PLTU Banten 2 Labuan dan keuntungan yang didapatkan oleh perusahaan. Variabel yang dianalisis meliputi debit aliran, diameter pipa, jenis fitting, panjang pipa, nilai friction factor, serta pressure drop yang terjadi pada sistem. Hipotesis penelitian ini adalah semakin kecil nilai head loss pada design sistem interconnection pipe, maka semakin tinggi tingkat efisiensi operasi reverse osmosis dan keandalan sistem sehingga meningkatkan keuntungan perusahaan. Pertanyaan penelitian yang diajukan meliputi: (1) bagaimana karakteristik head loss pada design sistem interconnection pipe reverse osmosis di PLTU BANTEN 2 LABUAN, (2) apakah desain perpipaan yang optimal dapat meningkatkan keuntungan bagi perusahaan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi perusahaan di industri pembangkit serta memperkaya kajian akademik mengenai integrasi analisis hidraulik dan keandalan sistem pengolahan air industri.

2. KAJIAN TEORITIS

Sistem reverse osmosis (RO) merupakan teknologi pemisahan berbasis membran yang bekerja dengan prinsip pemberian tekanan lebih tinggi daripada tekanan osmotik untuk memisahkan ion, mineral, dan kontaminan dari air baku. Pada industri pembangkitan listrik tenaga uap (PLTU), sistem RO digunakan untuk menghasilkan air demineralisasi dengan tingkat kemurnian tinggi sebagai suplai utama boiler dan sistem pendukung lainnya. Menurut (Di Pasquale et al., 2023) performa sistem RO dipengaruhi oleh distribusi tekanan, karakteristik aliran fluida, dan konfigurasi sistem perpipaan yang menghubungkan unit-unit pengolahan air. Dalam sistem perpipaan, kehilangan energi atau head loss menjadi parameter penting karena secara langsung memengaruhi tekanan operasi membran dan efisiensi aliran fluida. Head loss didefinisikan sebagai penurunan energi mekanik fluida akibat gesekan sepanjang pipa (major losses) maupun akibat fitting, valve, elbow, reducer, dan komponen sambungan lainnya (minor losses). Pada penelitian ini, variabel utama yang dianalisis meliputi debit aliran, diameter pipa, panjang pipa, jenis fitting, friction factor, dan pressure drop terhadap keandalan sistem reverse osmosis. Hubungan antar variabel tersebut didasarkan pada teori mekanika fluida, khususnya persamaan Bernoulli dan Darcy–Weisbach yang menjelaskan hubungan antara energi aliran, tekanan, dan kehilangan energi pada sistem perpipaan.

Dalam teori mekanika fluida, head loss pada sistem perpipaan dipengaruhi oleh karakteristik aliran fluida, kekasaran permukaan pipa, kecepatan aliran, serta konfigurasi perpipaan (Rizka, 2023). Persamaan Darcy–Weisbach menjadi dasar utama dalam menghitung major losses pada sistem aliran tertutup. Persamaan tersebut menyatakan bahwa kehilangan tekanan berbanding lurus terhadap panjang pipa dan kuadrat kecepatan aliran, serta berbanding terbalik terhadap diameter pipa. Secara matematis hubungan tersebut dapat ditunjukkan melalui persamaan berikut:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

dengan h_f sebagai head loss, f sebagai friction factor, L panjang pipa, D diameter pipa, V kecepatan aliran, dan g percepatan gravitasi. Teori ini telah banyak digunakan dalam analisis desain sistem perpipaan industri, termasuk pada sistem reverse osmosis. (Li, 2020) menjelaskan bahwa pressure drop yang tinggi pada sistem RO dapat meningkatkan konsumsi energi pompa dan menurunkan efisiensi operasi membran. Oleh karena itu, desain interconnection pipe yang optimal harus mempertimbangkan aspek hidraulik agar kehilangan tekanan dapat diminimalkan dan distribusi aliran menuju membran tetap stabil.

Selain major losses, minor losses juga memiliki pengaruh signifikan terhadap performa sistem reverse osmosis, terutama pada jaringan perpipaan yang memiliki banyak sambungan dan perubahan arah aliran. Minor losses terjadi akibat turbulensi aliran yang disebabkan oleh valve, tee joint, elbow, reducer, maupun expansion pipe. Besarnya kehilangan energi minor dapat dihitung menggunakan persamaan koefisien kehilangan lokal sebagai berikut:

$$h_m = K \frac{V^2}{2g}$$

dengan h_m sebagai minor head loss dan K sebagai koefisien kehilangan energi lokal. (Mehdizadeh et al., 2020) akumulasi pressure drop akibat losses pada sistem perpipaan dapat mempercepat fouling membran karena distribusi tekanan menjadi tidak merata. Kondisi tersebut menyebabkan beban kerja pompa meningkat dan umur operasi membran menjadi lebih pendek. Dalam konteks PLTU, gangguan pada sistem RO dapat berdampak pada terganggunya pasokan air demineralisasi sehingga memengaruhi kontinuitas operasi pembangkit. Oleh sebab itu, analisis losses pada interconnection pipe menjadi bagian penting dalam upaya peningkatan reliability sistem pengolahan air industri.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kajian mengenai optimasi sistem reverse osmosis lebih banyak difokuskan pada efisiensi energi dan performa membran dibandingkan analisis detail sistem perpipaan. Penelitian (Gaublomme et al., 2020) mengembangkan model reverse osmosis skala penuh untuk mengevaluasi stabilitas operasi sistem berdasarkan karakteristik tekanan dan aliran fluida. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa distribusi tekanan memiliki pengaruh besar terhadap efisiensi produksi permeate. Penelitian lain oleh (Veerman, 2020) membahas optimasi konfigurasi multistage membrane system guna meningkatkan efisiensi energi pada proses desalinisasi. Studi tersebut menemukan bahwa pengaturan konfigurasi aliran mampu mengurangi konsumsi energi spesifik sistem. Sementara itu, penelitian (Teguh Sasono et al., 2020) pada sistem brackish water reverse osmosis (BWRO) di PLTU Cilacap menunjukkan bahwa desain perpipaan dan konfigurasi stage memengaruhi stabilitas operasi sistem pengolahan air. Ketiga penelitian tersebut mendukung asumsi bahwa karakteristik hidraulik sistem memiliki hubungan erat dengan performa reverse osmosis, meskipun belum secara khusus mengkaji analisis head loss pada interconnection pipe sebagai variabel utama penelitian.

Di sisi lain, masih terdapat beberapa hasil penelitian yang menunjukkan perbedaan pandangan mengenai faktor dominan yang memengaruhi reliability sistem reverse osmosis. Beberapa penelitian menempatkan fouling membran sebagai penyebab utama penurunan performa sistem, sedangkan penelitian lain menekankan pentingnya optimasi distribusi tekanan dan desain aliran. (Mehdizadeh et al., 2020) menyatakan bahwa pretreatment dan kualitas feed water memiliki pengaruh terbesar terhadap stabilitas operasi membran dibandingkan konfigurasi perpipaan. Namun demikian, penelitian tersebut belum mengintegrasikan analisis pressure drop akibat losses hidraulik secara menyeluruh. Selain itu, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada instalasi desalinisasi umum dan belum banyak mengkaji aplikasi sistem reverse osmosis pada lingkungan PLTU yang memiliki karakteristik operasi berbeda, seperti kebutuhan kontinuitas tinggi dan tekanan operasi yang lebih kompleks. Keterbatasan tersebut menunjukkan adanya research gap terkait hubungan kuantitatif antara desain interconnection pipe, head loss, dan reliability sistem reverse osmosis pada industri pembangkitan tenaga listrik.

Berdasarkan teori dan penelitian terdahulu, penelitian ini menggunakan kerangka pemikiran yang menempatkan desain interconnection pipe sebagai variabel independen yang memengaruhi besarnya head loss dalam sistem perpipaan. Selanjutnya, head loss memengaruhi pressure drop, distribusi aliran, dan efisiensi kerja pompa yang pada akhirnya berdampak terhadap keandalan sistem reverse osmosis di PLTU BANTEN 2 LABUAN. Dalam model

konseptual penelitian ini, variabel diameter pipa, panjang pipa, jenis fitting, debit aliran, dan friction factor dianalisis untuk mengetahui pengaruhnya terhadap total losses sistem. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis analisis hidraulik untuk mengevaluasi hubungan antar variabel tersebut secara matematis dan empiris. Kerangka pemikiran ini dibangun berdasarkan teori Bernoulli dan Darcy–Weisbach yang menjelaskan hubungan antara energi aliran dan kehilangan tekanan pada sistem perpipaan. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi teoritis maupun praktis dalam pengembangan desain perpipaan reverse osmosis yang lebih efisien dan andal pada industri pembangkitan listrik.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang dilaksanakan pada Februari–Juni 2018 di PT Indonesia Power UJP Banten 2 Labuan. Populasi penelitian meliputi sistem perpipaan *reverse osmosis* dan komponen pendukungnya, sedangkan sampel penelitian berupa pipa *reverse osmosis*, *cartridge filter*, *high pressure pump*, serta rancangan *interconnection pipe*. Instrumen penelitian yang digunakan meliputi data spesifikasi teknis pipa dan peralatan, data fluida air laut, data operasional, serta rumus-rumus perhitungan aliran fluida. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, dokumentasi data teknis, pengukuran karakteristik perpipaan, dan pengumpulan data operasional sistem. Teknik analisis data dilakukan dengan menghitung karakteristik aliran fluida yang meliputi bilangan Reynolds, faktor gesek, *major losses*, dan *minor losses* pada kondisi operasi normal maupun saat *interconnection pipe* digunakan. Hasil perhitungan kemudian dibandingkan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan *interconnection pipe* terhadap kehilangan energi aliran dan kinerja sistem *reverse osmosis*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Permasalahan

Ketika terjadi permasalahan *filter* pada *cartridge* maka harus dilakukan perbaikan atau perawatan. Ketika *cartridge filter* tersebut mengalami masalah atau ketidak normalan operasi, permasalahan bisa disebabkan oleh *filter* yang sudah kotor, mampet, buntu atau sudah mulai jenuh. Permasalahan tersebut dapat menyebabkan RO *feed water inlet pressure low*. Selain masalah dari *filter*, RO *feed water inlet pressure low* juga bisa disebabkan oleh tekanan HPP *primary RO* yang kurang. Permasalahan yang terjadi pada *cartridge filter* tersebut dapat menyebabkan berhentinya produksi air *demin* karena disaat bersamaan HPP *primary RO* yang berada *line* berbeda mengalami kerusakan atau sedang dalam perbaikan. Oleh karena itu perlu

dibutuhkan penambahan *interconnection pipe*, sehingga saat terjadi permasalahan pada *cartridge* dan HPP *primary RO* produksi air *demin* tetap berlangsung.



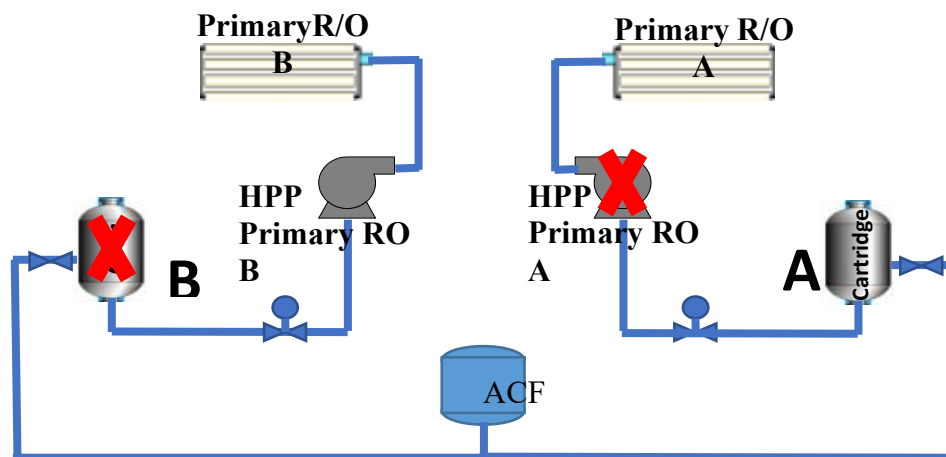
Gambar 1. Cartridge Filter

Penyelesaian Masalah

Penyelesaian Masalah Sebelum Adanya Interconnection Pipe

Untuk melakukan perbaikan pada *cartridge filter* dan *High Pressure Pump primary Reverse Osmosis* sebelum adanya *interconnection pipe*, *reverse osmosis* sistem harus stop sehingga produksi air *demin* harus terhenti. Agar *reverse osmosis* sistem tidak perlu stop pada saat dilakukan perbaikan pada *cartridge filter* dan *High Pressure Pump Primary Reverse Osmosis* maka digunakan *Interconnection Pipe*. Dengan adanya *Interconnection Pipe* tersebut maka proses perbaikan peralatan dan produksi air *demin* dapat berjalan secara bersamaan.

Ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan untuk melakukan pergantian *filter* pada *cartridge* ketika *high pressure pump primary reverse osmosis* yang berada di *line* berbeda sedang dalam perbaikan: *Pre-requisities* (persiapan) dilakukan dengan memastikan kondisi *reverse osmosis* sistem stop, memastikan isolating *valve cartridge* filter dalam keadaan close, memastikan tidak ada aliran, serta memastikan sudah tersedia filter. Pelaksanaan dilakukan dengan melepaskan filter pada *cartridge*, kemudian memasang *cartridge* filter yang baru.

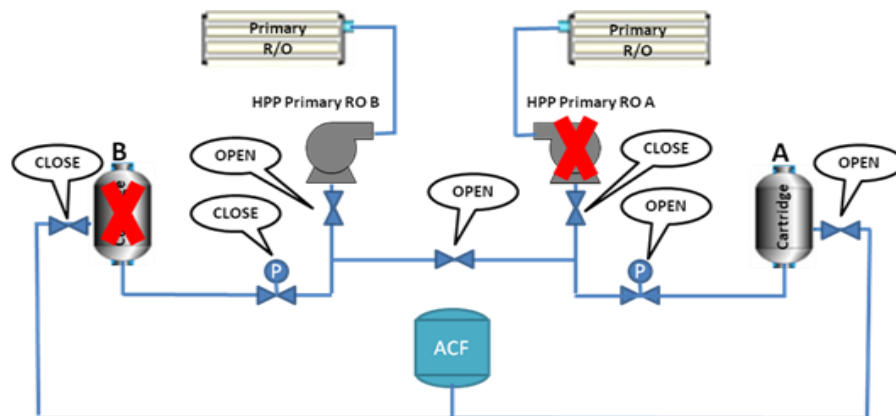


Gambar 2 Aliran Fluida Sebelum adanya Interconnection Pipe

Penyelesaian masalah sesudah adanya interconnection pipe

Dengan adanya penambahan *interconnection pipe* untuk melakukan perbaikan cartridge filter ketika HPP primary RO yang berada pada *line* berbeda sedang dalam perbaikan atau mengalami kerusakan maka reverse osmosis sistem tidak perlu stop sehingga produksi air demin tetap berlangsung.

Setelah adanya *interconnection pipe*, ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan untuk melakukan pergantian filter pada cartridge ketika HPP Primary RO yang berada di *line* berbeda sedang dalam perbaikan. Di bawah nanti akan juga dijelaskan dengan gambar ilustrasi. Pre-requisites (persiapan) dilakukan dengan memastikan isolating valve cartridge filter dalam keadaan close, memastikan tidak ada aliran pada cartridge filter, serta memastikan sudah tersedia filter. Pada tahap pelaksanaan dilakukan dengan close isolating valve menuju High Pressure Pump Primary Reverse Osmosis yang sedang dalam perbaikan, open isolating valve cartridge filter (standby), open pneumatic valve cartridge filter (standby), open isolating valve *interconnection pipe*, open isolating valve HPP Primary RO (standby), kemudian melepaskan dan mengganti cartridge filter.



Gambar 3. Sesudah adanya *interconnection pipe*

Perhitungan Analisa Perpipaan

Perhitungan analisa perpipaan dilakukan untuk menghitung head losses pada rancangan perpipaan ketika sistem *reverse osmosis* berkerja normal dan ketika menggunakan *interconnection pipe*. Sebelum menghitung head losses hal yang dilakukan adalah menentukan jenis aliran, faktor gesekan (f).

Menentukan Jenis Aliran saat sistem R.O bekerja normal

Diketahui:

$$\rho_{\text{Air laut}} : 1023,3 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{\text{Air Laut}} : 9,5607 \times 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$$

$$Q : 87 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,416 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s} \\
 D_{\text{pipa}} &: \text{Sch 40, 10 inch} \\
 &= 2,54 \times 10^{-1} \text{ m} \\
 \epsilon_{\text{pipa}} &: 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} \\
 \text{Relative roughness: } \frac{\epsilon}{D} & \\
 &= \frac{4,6 \times 10^{-5} \text{ m}}{2,54 \times 10^{-1} \text{ m}} \\
 &= 1,811 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 A &= 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= \pi \cdot \frac{(2,54 \times 10^{-1} \text{ m})^2}{4} \\
 &= 5,067 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \\
 V_{\text{air laut}} &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{2,416 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}}{5,067 \times 10^{-2} \text{ m}^2} \\
 &= 4,7681 \times 10^{-1} \text{ m/s} \\
 Re &= \frac{\rho \cdot V \cdot d}{\mu} \\
 &= \frac{1023,3 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,7681 \times 10^{-1} \text{ m/s} \cdot 2,54 \times 10^{-1} \text{ m}}{9,5607 \times 10^{-4} \text{ N.s/m}^2} \\
 &= \frac{1,24 \times 10^2 \text{ kg/m.s}}{9,5607 \times 10^{-4} \text{ N.s/m}^2} \\
 &= 129626,07 \rightarrow (\text{Aliran Turbulance})
 \end{aligned}$$

Menentukan Faktor Gesekan saat sistem R.O bekerja normal

Dari perhitungan di atas didapatkan $Re > 4000$ adalah Aliran Turbulance maka digunakan diagram moody untuk mencari factor gesekan. Dari diagram moody didapatkan factor gesekan sebesar $f = 0,0175$

Menghitung Head Losses Aliran saat sistem R.O bekerja normal

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 f &: 0,0175 \\
 d &: 2,54 \times 10^{-1} \text{ m} \\
 V &: 4,7681 \times 10^{-1} \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Penyelesaian:

Tabel 1. Kerugian di sepanjang pipa.

No	Jenis	Keterangan	Nilai f , K, Le/d	Rumus	Head Losses (m)
1	Sepanjang pipa	L = 4 m	f: 0,0175	$h_l = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$	$3,219 \times 10^{-3}$
2	Tee	Flow throught run (1 buah)	Le/d= 20	$h_{lm} = f \cdot \frac{Le}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$	$4,088 \times 10^{-3}$
3	90° Elbow	Long radius elbow (1 buah)	Le/d= 20	$h_{lm} = f \cdot \frac{Le}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$	$4,088 \times 10^{-3}$
4	Butterfly Valve	Fully open	Le/d= 40	$h_{lm} = f \cdot \frac{Le}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$	$8,176 \times 10^{-3}$
Total Head Losses					$19,517 \times 10^{-3}$

Menentukan Jenis Aliran saat *interconnection pipe* dioperasikan

Diketahui:

$$\rho_{\text{Air laut}} : 1023,3 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{\text{Air Laut}} : 9,5607 \times 10^{-4} \text{ N.s/m}^2$$

$$Q : 87 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$= 2,416 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_{\text{pipa}} : \text{Sch 40, 10 inch}$$

$$= 2,54 \times 10^{-1} \text{ m}$$

$$\epsilon_{\text{pipa}} : 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$\text{Relative roughness: } \frac{\epsilon}{D}$$

$$= \frac{4,6 \times 10^{-5} \text{ m}}{2,54 \times 10^{-1} \text{ m}}$$

$$= 1,811 \times 10^{-4}$$

Penyelesaian:

$$A = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= \pi \cdot \frac{(2,54 \times 10^{-1} \text{ m})^2}{4}$$

$$= 5,067 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$V_{\text{air laut}} = \frac{Q}{A}$$

$$= \frac{2,416 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}}{5,067 \times 10^{-2} \text{ m}^2}$$

$$= 4,7681 \times 10^{-1} \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot d}{\mu}$$

$$= \frac{1023,3 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,7681 \times 10^{-1} \text{ m/s} \cdot 2,54 \times 10^{-1} \text{ m}}{9,5607 \times 10^{-4} \text{ N.s/m}^2}$$

$$= \frac{1,24 \times 10^2 \text{ kg/m.s}}{9,5607 \times 10^{-4} \text{ N.s/m}^2}$$

$$= 129626,07 \rightarrow (\text{Aliran Turbulance})$$

Menentukan Faktor Gesekan saat *interconnection pipe* dioperasikan

Dari perhitungan di atas didapatkan $Re > 4000$ adalah Aliran Turbulance maka digunakan diagram moody untuk mencari factor gesekan. Dari diagram moody didapatkan factor gesekan sebesar $f = 0,0175$

4.3.1 Menghitung *Head Losses* Aliran saat *interconnection pipe* dioperasikan

Diketahui:

$$f : 0,0175$$

$$d : 2,54 \times 10^{-1} \text{ m}$$

$$V : 4,7681 \times 10^{-1} \text{ m/s}$$

Penyelesaian:

Tabel 2. Kerugian di sepanjang pipa.

No	Jenis	Keterangan	Nilai f , K , Le/d	Rumus	<i>Head Losses</i> (m)
1	Sepanjang pipa	$L = 9 \text{ m}$	$f: 0,0175$	$h_l = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}$	$7,243 \times 10^{-3}$
2	<i>Tee</i>	<i>Flow throught branch</i> (2 buah)	$Le/d = 60$	$h_{lm} = f \cdot \frac{Le}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}$	$24,528 \times 10^{-3}$
3	90° <i>Elbow</i>	<i>Long radius elbow</i> (3 buah)	$Le/d = 20$	$h_{lm} = f \cdot \frac{Le}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}$	$12,264 \times 10^{-3}$
4	<i>Butterfly Valve</i>	<i>Fully Open</i> (2 buah)	$Le/d = 40$	$h_{lm} = f \cdot \frac{Le}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}$	$16,352 \times 10^{-3}$
Total <i>Head Losses</i>					$60,387 \times 10^{-3}$

Material Utama Yang Digunakan Dalam Pembuatan *Interconnection Pipe*

Stainless Steel Pipe ASTM 312 Type 316 L, SCH 40 Seamless. Size 10" Lenght 6000 MM

Pada pembuatan *line* tersebut menggunakan pipa stainless steel tipe 316 L. pipa stainless steel 316 L memiliki komposisi kimia $C \leq 0.03 \%$, $Si \leq 1.00 \%$, $Mn \leq 2.00 \%$, $P \leq 0.035 \%$, $S \leq 0.03 \%$, $Ni = 10 - 14 \%$, $Cr = 16 - 18.5 \%$ dan $Mo = 2.0 - 3.0 \%$. Paduan dari berbagai unsur kimia tersebut dikenal memiliki sifat pengelasan yang baik. Tipe 316 L merupakan versi karbon rendah, dengan adanya penambahan unsur molibdenum 2-3 % akan memberikan perlindungan terhadap korosi. Sehingga tipe pipa stainless steel 316 L lebih cocok dalam lingkungan korosif dan baik digunakan pada peralatan yang berhubungan dengan air laut. Pipa ini juga memiliki ketahanan pada temperature tinggi maupun rendah. Selain itu pipa ini juga memiliki ketahanan yang lebih besar untuk oksidasi, melindungi dari korosi yang disebabkan oleh sulfur, belerang, klorida, asam sulfat dan klorida alkali. Untuk detail ukuran pipa dapat dilihat pada lampiran 6 dibawah.

Equal Tee Type SS 316 L, SCH 40 Seamless. Size 10" X 10" Specific Butt-Weld

Pada pembuatan *interconnection pipe* tersebut juga digunakan *fitting* atau penyambung *tee* yang fungsinya untuk membuat percabangan 90° dari pipa utama. Untuk material *tee* menggunakan stainless steel tipe 316 L. Pemilihan jenis material *tee* ini berdasarkan pipa yang digunakan sehingga karakteristik material tersebut juga sama. *Tee* ini mempunyai spesifik khusus dalam proses penyambungannya dengan cara *butt-weld*. *Butt-weld* untuk prosedur fabrikasinya adalah dengan menyatukan masing masing ujung sambungan (*bevel*), diluruskan (*align*), *tack-weld*, lalu las secara kontinu. Untuk *tee* seperti diatas sangat cocok untuk pipa dan *fitting* berukuran besar. Untuk detail ukuran *tee* dapat dilihat pada lampiran 7 dibawah.

Elbow 90 Deg Type SS 316 L, SCH 40 Seamless. Size E 10" Specific Butt-Weld

Elbow ini digunakan untuk membelokkan aliran dengan sudut 90°. Untuk material *elbow* menggunakan stainless steel tipe 316 L yang tahan terhadap sifat korosif. Untuk penyambungan *elbow* dengan cara *butt-weld*, dimana prosedur fabrikasinya sama seperti dengan penyambungan *tee*. Untuk detail ukuran *elbow* dapat dilihat pada lampiran 8 dibawah.

Flange Class 150 SS 316 L Size 10" Type Slip On.

Berdasarkan *valve* yang digunakan pada pembuatan *interconnection pipe* ini maka digunakanlah *flange class 150* tipe *Slip On*. *Flange* ini banyak digunakan karena sifatnya yang mudah untuk disambungkan dengan pipa. Untuk proses penyambungannya menggunakan las. Untuk detail ukuran *flange* dapat dilihat pada lampiran 10 dibawah.

Butterfly Valve Ductile Iron Class 200 Type 918-G Size 10"

Pada pembuatan *interconnection pipe* tersebut untuk *isolating valve* yang digunakan adalah *butterfly valve*. *Valve* ini digunakan karena cocok untuk mengalirkan jumlah fluida yang sangat besar, *pressure drop* sangat rendah dan turbulensinya kecil sehingga dapat meminimalisir kavitasi pada pompa. *Butterfly valve* ini dapat digunakan untuk mengisolasi atau mengatur aliran. *Valve* jenis ini selain harganya yang lebih murah, pengoperasiannya juga mudah dan biaya pemeliharaan biasanya pun lebih rendah karena jumlah bagian yang bergerak minim. Untuk detail desain, ukuran dan material *butterfly valve* dapat dilihat pada lampiran 9 dibawah.

Valve type	Service or function										
	On-off	Throttling	Diverting	No reverse flow	Pressure control	Flow control	Pressure relief	Quick opening	Free draining	Low pressure drop	Handling solids in suspension
Ball	S	M	S	—	—	—	—	S	—	S	LS
Butterfly	S	S	—	—	—	S	—	S	S	S	S
Diaphragm	S	M	—	—	—	—	—	M	M	—	S
Gate	S	—	—	—	—	—	—	S	S	S	—
Globe	S	M	—	—	—	M	—	—	—	—	—
Plug	S	M	S	—	—	M	—	S	S	S	LS
Oblique (Y)	S	M	—	—	—	M	—	—	—	—	—
Pinch	S	S	—	—	—	S	—	—	S	S	S
Slide	—	M	—	—	—	M	—	M	S	S	S
Swing-check	—	—	—	S	—	—	—	—	—	S	—
Tilting-disc	—	—	—	S	—	—	—	—	—	S	—
Lift-check	—	—	—	S	—	—	—	—	—	—	—
Piston-check	—	—	—	S	—	—	—	—	—	—	—
Butterfly-check	—	—	—	S	—	—	—	—	—	—	—
Pressure-relief	S	—	—	—	—	—	S	—	—	—	—
Pressure-reducing	—	—	—	—	S	—	—	—	—	—	—
Sampling	S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Needle	—	S	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Key:
 S = Suitable choice
 M = May be suitable in modified form
 LS = Limited suitability

Gambar 4. Typical Valve Suitability Chart

Estimasi Biaya

Estimasi biaya dalam pembuatan *interconnection pipe* sesuai dengan desain seperti yang telah dipaparkan di atas adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Estimasi biaya pembuatan *interconnection pipe*

Item	Price	Qty	Total
Pipe	Rp. 19.870.000	2	Rp. 39.740.000
Tee	Rp. 1.499.500	2	Rp. 2.999.000
Elbow	Rp. 1.385.700	2	Rp. 2.771.400
Flange	Rp. 1,068,000	39	Rp. 41.652.000
Butterfly Valve	Rp.8.490.700	3	Rp. 25.472.100
Gasket	Rp. 722.000	10	Rp. 7.220.000
Instalations			Rp. 8.000.000
TOTAL			Rp. 127.854.500

Manfaat Finansial

Kerugian yang dialami ketika terjadi gangguan atau permasalahan pada cartridge filter dan high pressure pump primary reverse osmosis yaitu mengharuskan reverse osmosis sistem stop. Untuk perbaikan atau pergantian cartridge filter sendiri memakan waktu sekitar 10 jam. Jika reverse osmosis stop, maka produksi air demin juga terhenti. Apabila produksi air demin terhenti dan kondisi demin tank dalam posisi low level, maka unit harus derating. Pada Tugas Akhir ini, kerugian dihitung dari produksi air demin yang stop akibat perbaikan cartridge filter dan high pressure pump primary reverse osmosis serta kerugian ketika unit harus derating.

Kerugian ketika produksi air demin harus stop dihitung dengan rumus jumlah produksi air demin yang terhenti dikalikan harga air demin per m³ dan dikalikan estimasi waktu. Dengan harga air demin sebesar Rp16.825/m³, jumlah produksi air demin yang terhenti sebesar 78 m³/jam, dan estimasi waktu maintenance atau penggantian cartridge filter selama 10 jam, maka diperoleh hasil perhitungan sebesar $78 \text{ m}^3 \times \text{Rp}16.825 \times 10 \text{ jam} = \text{Rp}13.123.500,00$. Jadi total kerugian yang diakibatkan reverse osmosis sistem stop saat perbaikan cartridge filter adalah sebesar Rp13.123.500,00.

Sementara itu, kerugian ketika unit harus derating dihitung dengan rumus jumlah beban yang hilang dikalikan harga listrik per kWh dan dikalikan estimasi waktu. Dengan kehilangan beban sebesar 100 MW atau 100.000 kW, harga listrik sebesar Rp742/kWh, dan estimasi waktu maintenance atau penggantian cartridge filter selama 10 jam, maka diperoleh hasil perhitungan sebesar $100.000 \text{ kW} \times \text{Rp}742 \times 10 \text{ jam} = \text{Rp}742.000.000,00$. Jadi total kerugian yang diakibatkan unit harus derating adalah sebesar Rp742.000.000,00.

Manfaat Non-Finansial

Manfaat non-finansial yang dapat diperoleh dari adanya penambahan *interconnection pipe* untuk menghindari *reverse osmosis system stop* saat perbaikan *cartridge & high pressure pump primary reverse osmosis* diwaktu yang bersamaan adalah sebagai berikut: a) Meningkatkan kehandalan *reverse osmosis system*; b) Memudahkan dalam melakukan perawatan dan perbaikan cartridge filter dan *high pressure pump primary reverse osmosis*; c) Menghilangkan potensi *reverse osmosis stop* ketika terjadi masalah pada *cartridge filter* dan *high pressure pump primary reverse osmosis*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Melalui pembahasan, analisa, perhitungan dan data-data dalam bab–bab sebelumnya maka dapat diambil kesimpulan: 1) Sebelum adanya *Interconnection Pipe* saat dilakukan perbaikan cartridge filter dan HPP primary RO yang berada di *line* berbeda, *reverse osmosis* harus dalam keadaan *stop*; 2) Penambahan *Interconnection Pipe* dapat menjadi penyelesaian masalah, karena dengan adanya *Interconnection Pipe* proses perbaikan *cartridge filter* dan *HPP primary RO* dapat dilakukan kapanpun tanpa harus *reverse osmosis stop*.

Saran

Penambahan *Interconnection Pipe* segera diterapkan untuk mengurangi resiko kerugian finansial maupun *non* finansial dikarenakan *reverse osmosis* harus *stop* saat dilakukan perbaikan pada *cartridge filter* dan *HPP Primary RO*.

DAFTAR REFERENSI

- Adhisa Neela Noor Safira, et al. (2023). Pembentukan Dan Analisis District Meter Area Dalam Perencanaan Jaringan Perpipaan Di Kecamatan Sukowono. *Jurnal Universal Technic (UNITECH)*, 2(1). <https://doi.org/10.58192/unitech.v2i1.623>
- Bambang Minto Basuki. (2025). Model Perawatan Generator di PLTU Paiton menggunakan Metode Naive Bayes. *Jupiter: Publikasi Ilmu Keteknikan Industri, Teknik Elektro Dan Informatika*, 3(4), 231–241. <https://doi.org/10.61132/jupiter.v3i4.1002>
- Di Pasquale, N., Akele, M., Municchi, F., King, J., & Icardi, M. (2023). *Mathematical modelling and numerical simulation of reverse-osmosis desalination*. <http://arxiv.org/abs/2301.13160>
- Gaublomme, D., Strubbe, L., Vanoppen, M., Torfs, E., Mortier, S., Cornelissen, E., De Gusseme, B., Verliefde, A., & Nopens, I. (2020). A generic reverse osmosis model for full-scale operation. *Desalination*, 490, 114509. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114509>
- I Kadek Dwi Artha Guna, et al. (2026). Studi Audit Energi Listrik untuk Optimalisasi Konsumsi Daya pada Office Engineering Aston Denpasar Hotel & Convention Center. *Mars: Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 4(1). <https://doi.org/10.61132/mars.v4i1.1382>
- Li, M. (2020). Dynamic Operation of Batch Reverse Osmosis and Batch Pressure Retarded Osmosis. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59(7), 3097–3108. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b06371>
- Mehdizadeh, S., Yasukawa, M., Suzuki, T., & Higa, M. (2020). Reverse electro dialysis for power generation using seawater/municipal wastewater: Effect of coagulation pretreatment. *Desalination*, 481, 114356. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114356>
- Rafi Wicaksono, et al. (2025). Implementasi IoT dalam Pengaturan Sistem untuk Peningkatan Kualitas Distribusi Air Pamsimas di Gunungpati. *Uranus: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains dan Informatika*, 3(3). <https://doi.org/10.61132/uranus.v3i3.1039>

- Rizka Nur Faila (2023). STUDI NUMERIK EVALUASI SUDUT DIVERGENSI TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN FLUIDA DI DALAM SYMMETRIC FLAT-WALLED DIFFUSER. *JURNAL TEKNIK MESIN, INDUSTRI, ELEKTRO DAN INFORMATIKA*, 2(1). <https://doi.org/10.55606/jtmei.v1i1.1848>
- Rizqi Ahmad Muzaki, et al. (2024). Studi Kasus : Dampak Pembangunan PLTU terhadap Kehidupan Sosial, Ekonomi, dan Lingkungan Masyarakat Morowali Utara, Sulawesi Tengah dalam Kaca Mata Sosiologi. *Jurnal Insan Pendidikan dan Sosial Humaniora*, 2(3). <https://doi.org/10.59581/jipsoshum-widyakarya.v2i3.3436>
- Samuel Gideon & Yudika Chesy Betesda (2025). Evaluasi Kuantitatif serta Analisis Kerugian Mayor dan Minor pada Sistem Perpipaana NaOH 29–31% di Chlor Alkali Plant PT X, Porsea. *Jupiter: Publikasi Ilmu Keteknikan Industri, Teknik Elektro dan Informatika*, 3(4). <https://doi.org/10.61132/jupiter.v3i4.952>
- Son Haji, et al. (2024). Analisis Pengembangan Jaringan Pengairan Dengan Program Epanet Dalam Memenuhi Kebutuhan Air Pada Kebun Alam Regeneratif Sekolah Alam Ar Ridho Semarang. *Journal of Civil Engineering and Technology Sciences*, 3(1). <https://doi.org/10.56444/jcets.v3i1.1356>
- Teguh Sasono, Tjatur Udjianto, & Taufik Rizal. (2020). Rancangan Multistage High Recovery Brackish Water Reverse Osmosis Pada Pltu Cilacap Kapasitas 660 Mw. *Jurnal Teknik Energi*, 6(2), 541–546. <https://doi.org/10.35313/energi.v6i2.1719>
- Veerman, J. (2020). Reverse Electrodialysis: Co- and Counterflow Optimization of Multistage Configurations for Maximum Energy Efficiency. *Membranes*, 10(9), 206. <https://doi.org/10.3390/membranes10090206>
- Zaidi, S. Z. J., Shafeeq, A., Sajjad, M., Hassan, S., Aslam, M. S., Saeed, T., & Walsh, F. C. (2021). Benchmarking of scaling and fouling of reverse osmosis membranes in a power generation plant of paper and board mill: an industrial case of a paper and board mill study. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(9), 2511–2518. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-03015-1>