

ANALISIS BIAYA UTILITAS PADA PRARANCANGAN PABRIK DISPROPORTIONATED ROSIN DARI GONDORUKEM GRADE WG DENGAN KAPASITAS 3000 TON/TAHUN

Muhammad Naufal Sandifa, Achmad Chumaidi, Sigit Hadianoro
Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
sandifanaufal@gmail.com ; [\[sgHPolinema@yahoo.co.id\]](mailto:sgHPolinema@yahoo.co.id)

ABSTRAK

Upaya untuk meningkatkan nilai ekonomis gondorukem salah satunya adalah mengubah bentuknya menjadi *disproportionated rosin*. Untuk produksi skala industri diperlukan berbagai peralatan yang dapat mendukung prosesnya. Agar proses dapat berjalan dengan lancar diperlukan sarana pendukung yaitu utilitas. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis biaya pengadaan utilitas yang selanjutnya digunakan untuk analisis ekonomi pabrik *disproportionated rosin*. Metode analisis biaya yang digunakan adalah studi literatur dengan pendekatan kuantitatif. Dari analisis yang dilakukan, diperoleh besaran analisis yaitu unit penyedia *steam* berupa *boiler* dengan tipe *water tube* dengan biaya bahan bakar per hari sebesar Rp 20.736,00/hari atau Rp. 6.842.880,00/tahun (US\$ 459,649.00/tahun). Sumber unit penyedia air berasal dari sungai terdekat lokasi prarancangan pabrik dengan biaya untuk *treatment* air per hari sebesar Rp. 14.919.434,07/hari atau Rp. 4.923.413.242,656/tahun (US\$ 330.715.514/tahun). Unit penyedia listrik berasal dari PLN dengan total biaya listrik sebesar Rp. 4.521.493.683,78/tahun atau Rp. 3.617.194.947,00/tahun (US\$ 242.974,219/tahun) dengan efisiensi listrik sebesar 80%.

Kata kunci: analisis, utilitas, steam, air, listrik.

ABSTRACT

One of the efforts to increase the economic value of gum rosin is to change its form to disproportionated rosin. For industrial scale production required a variety of equipment that can support the process. In order for the process to run smoothly, supporting facilities are needed, namely utilities. This study aims to analyze the costs of procuring utilities which are then used for economic analysis of disproportionated rosin plant. From the analysis carried out, the analysis is obtained as follows: Steam supply unit in the form of a boiler with a water tube type with a fuel cost per day of IDR 20,736.00/day or IDR. 6,842,880.00/year (US\$ 459,649.00/year). The source of the water supply unit comes from the river closest to the factory design location with a cost for water treatment per day of Rp. 14,919,434.07/day or Rp. 4,923,413,242.656/year (US\$ 330.715.514/year). The electricity supply unit comes from PLN with a total electricity cost of Rp. 4,521,493,683.78/year or Rp. 3,617,194,947.00/year (US\$ 242.974,219/year) with an electricity efficiency of 80%.

Keywords: analysis, utilities, steam, water, electricity

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil gondorukem terbesar setelah Tiongkok dan Brazil dengan jumlah produksi 70 ribu ton/tahun. Dari produksi tersebut hanya 10% jumlah produksi tahunan digunakan untuk kebutuhan dalam negeri sedangkan 90%

digunakan untuk kebutuhan ekspor [1]. Gondorukem secara tradisional dibutuhkan dalam proses industri kertas, sabun, dan batik. Gondorukem memiliki kelemahan yaitu cenderung mengkristal, mudah teroksidasi oleh oksigen dan mudah bereaksi dengan garam logam berat dalam vernis [2]. Untuk meningkatkan nilai ekonomis dan sifat dari gondorukem, salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan mengubahnya menjadi bentuk turunannya yaitu *disproportionated rosin*.

Disproportionated rosin, atau disingkat sebagai DPR, merupakan gondorukem modifikasi yang diperoleh dari proses menghilangkan efek asam tipe abietik dengan cara ekstraksi dan netralisasi asam abietik menjadi natrium abietik [3]. Asam abietik dihilangkan dalam proses pembuatan *disproportionated rosin* karena memiliki kelemahan yaitu tidak stabil, tahan terhadap warna, dan mudah teroksidasi [4]. *Disproportionated rosin* memiliki kegunaan komersial yang penting, sebagai pengemulsi dalam produksi karet stiren-butadien, resin ABS, dan karet kloropen. *Disproportionated rosin* juga digunakan sebagai bahan baku dari sintesis *rosin nitrile*, bahan *intermediate* dalam proses pembuatan perekat, tinta percetakan, pigmen organik, dan lain sebagainya. Studi lebih lanjut juga membuktikan bahwa penyusun utama *disproportionated rosin*, yaitu asam dehidroabietik, memiliki peran yang penting dalam bidang medis [5].

Untuk mempersiapkan pendirian pabrik untuk memanfaatkan gondorukem menjadi *disproportionated rosin* memerlukan desain awal dan pekerjaan pengembangan proses. Kedua hal tersebut memberikan hasil yang diperlukan untuk desain perkiraan rinci. Faktor-faktor yang harus ditetapkan dalam pengembangan desain perkiraan rinci antara lain proses produksi, neraca massa dan panas, rentang suhu dan tekanan, spesifikasi bahan baku dan produk, *yield*, laju reaksi, dan waktu siklus, material konstruksi, kebutuhan utilitas, dan lokasi pabrik [6].

Unit pendukung proses atau sering pula disebut unit utilitas merupakan sarana penunjang proses yang diperlukan pabrik agar dapat berjalan dengan baik. Utilitas umumnya meliputi *steam*, air pendingin, listrik, bahan bakar, udara tekan, dan bahan pendingin. Utilitas dapat ditentukan dari neraca massa dan neraca panasnya [7]

Kebutuhan utilitas pada prarancangan pabrik *disproportionated rosin* dibagi menjadi tiga bagian, yaitu unit penyedia *steam*, unit penyediaan air, dan unit penyediaan tenaga listrik. *Steam* digunakan untuk media pemanas dalam industri untuk masing-masing alat. Unit penyediaan air dibagi menjadi tiga bagian yaitu, air sanitasi, air pendingin, air umpan proses dan *boiler*. Unit penyediaan listrik digunakan untuk menyuplai kebutuhan pencahayaan, motor-motor mesin, dan alat penunjang lainnya [6].

Analisis biaya kebutuhan utilitas pada pra rancangan pabrik kimia sebelumnya telah dilakukan pada penelitian-penelitian sebelumnya. Pada penelitian Wardah, dkk., pra rancangan pabrik kimia DPR dengan metode netralisasi asam klorida kapasitas 2.500 ton/tahun terdiri dari kebutuhan *steam* sebesar 9.367,4552 kg/hari, kebutuhan air sebesar 29.347,6902 kg/jam dan total kebutuhan listrik sebesar 1.228,2902 kW [8]. Pada penelitian Salsabila, dkk., prarancangan pabrik kimia DPR menggunakan metode asam klorida dengan kapasitas 2700 ton/tahun total biaya kebutuhan utilitas sebesar Rp. 1.281.472.067,00 per tahun. Total biaya tersebut terdiri dari biaya utilitas air per tahun sebesar Rp. 45.390.357,00, biaya listrik sebesar Rp. 438.514.672,00 dan biaya bahan bakar sebesar Rp. 797.567.038,00 [9].

Kajian ini bertujuan untuk menganalisis biaya kebutuhan utilitas dan biaya yang dibutuhkan dalam prarancangan pabrik *disproportionated rosin* dari gondorukem *grade WG* dengan metode asetonisasi kapasitas 3000 ton/tahun.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang dilakukan adalah metode studi literatur dengan pendekatan kuantitatif. Analisis biaya utilitas yang dilakukan mengacu pada perhitungan biaya dari Danang, dkk. (2021) [10]. Data diambil dengan mencatat kebutuhan air, *steam*, dan listrik pada utilitas pabrik.

2.1. Analisis Biaya Unit Penyedia *Steam*

Rumus yang digunakan pada analisis unit ini meliputi *rate steam boiler*, kapasitas *boiler*, *boiler horsepower* (BHP), luas perpindahan panas, massa bahan bakar, kebutuhan air dan bahan bakar.

- *Rate steam boiler*

Diperkirakan kebocoran akibat perpindahan panas adalah 10% dari total *steam* yang digunakan, sedangkan untuk faktor keamanan sebesar 10% dari total *steam*. Sehingga jumlah kuantitas *steam* yang harus dihasilkan oleh *boiler* sebesar 120%.

$$\text{Rate steam boiler} = \text{Kebutuhan steam} \times 120\% \quad (1)$$

- Kapasitas *boiler*

$$\text{Kapasitas boiler} = \text{Rate steam} \times \lambda \quad (2)$$

- *Boiler Horsepower* (BHP)

$$\text{BHP} = \frac{\text{Kapasitas boiler}}{2.544,50} \quad (3)$$

- Luas perpindahan panas

$$\text{Luas perpindahan panas} = 10 \text{ ft}^2 \times \text{BHP} \quad (4)$$

- Kebutuhan air

$$\begin{aligned} \text{Air blowdown} &= 3\% \\ \text{Kebutuhan umpan air} &= \text{Rate steam} \times 103\% \end{aligned} \quad (5)$$

- Massa bahan bakar

Bahan bakar yang digunakan adalah batu bara antrachite (*coal*) dengan *heating value* (H_v) = 15.480 btu/lb, maka:

$$\text{Massa bahan bakar} = \frac{\text{Kapasitas boiler}}{H_v \times 75\%} \quad (6)$$

- Kebutuhan bahan bakar

Diketahui biaya bahan bakar batu bara sebesar Rp. 4.800,00 per kg.

$$\text{Biaya bahan bakar per hari} = \text{Kebutuhan bahan bakar per hari} \times \text{Rp. 4.800,00} \quad (7)$$

$$\text{Biaya bahan bakar/tahun} = \text{Biaya bahan bakar/hari} \times 330 \text{ hari} \quad (8)$$

2.2. Analisis Unit Penyedia Air

Berdasarkan jenis kebutuhannya, unit penyedia air dibagi menjadi empat bagian, yaitu air sanitasi, air pendingin, air umpan proses dan *boiler*. Untuk menghitung kebutuhan analisis air sanitasi, diperlukan penghitungan kebutuhan karyawan, laboratorium dan musholla, dan pemadam kebakaran

- Kebutuhan karyawan

Air yang dibutuhkan sebanyak 0,12 m³/hari per karyawan sehingga sesuai standar WHO dengan $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$ diperoleh 120 kg/hari. Pada prarancangan pabrik *disproportionated rosin* ini, diperlukan sekitar 143 karyawan.

$$\text{Kebutuhan karyawan} = \frac{120 \frac{\text{kg}}{\text{hari.orang}} \times 143 \text{ karyawan}}{8 \text{ jam/hari}} \quad (9)$$

- Kebutuhan laboratorium dan musholla

$$\text{Kebutuhan air} = 20\% \times \text{kebutuhan karyawan} \quad (10)$$

- Kebutuhan air pemadam kebakaran

$$\text{Kebutuhan air} = 140\% \times \text{kebutuhan laboratorium dan musholla} \quad (11)$$

- Total air sanitasi

$$\text{Kebutuhan karyawan} + \text{air laboratorium musholla} + \text{air pemadam kebakaran} \quad (12)$$

Untuk menghitung kebutuhan air pendingin pada unit penyedia air dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Kebutuhan air pendingin} = \frac{\text{Total rate air}}{\rho} \quad (13)$$

Untuk menghitung air umpan proses dan *boiler* digunakan persamaan-persamaan berikut.

- Kebutuhan air umpan proses dan *boiler*

$$\text{Kebutuhan air umpan proses/boiler} = \frac{\text{Total rate air}}{\rho} \quad (14)$$

- Biaya total kebutuhan air per hari

$$\text{air sanitasi} + \text{air pendingin} + \text{air umpan proses} + \text{air umpan boiler} \quad (15)$$

- Biaya *treatment* air

Diketahui biaya *treatment* air per hari sebesar Rp 1.000,00 per m³, berlaku pada biaya *treatment* air pendingin, air umpan proses dan air umpan *boiler*.

$$Biaya = Total\ kebutuhan\ air \times biaya\ treatment\ per\ hari \quad (16)$$

Sedangkan untuk biaya total kebutuhan air per tahun

$$Biaya = Total\ kebutuhan\ air \times biaya\ treatment\ per\ hari \times 330\ hari \quad (17)$$

2.3. Analisis Unit Penyedia Listrik

Kebutuhan listrik pada prarancangan pabrik *disproportionated rosin* dibagi menjadi dua kebutuhan utama, yaitu kebutuhan listrik untuk proses dan kebutuhan listrik untuk penerangan dan lainnya.

- Biaya listrik proses dan penerangan

$$Biaya = Total\ daya \times biaya\ listrik\ per\ kWh \quad (19)$$

- Biaya listrik proses per tahun

$$Biaya = Efisiensi\ listrik \times Total\ biaya\ listrik \times 330\ hari \quad (20)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebutuhan utilitas pada prarancangan pabrik *disproportionated rosin* dari gondorukem *grade WG* dengan kapasitas 3000 ton/tahun, dibagi menjadi tiga jenis utilitas, yaitu unit penyedia *steam*, unit penyedia air, dan unit penyedia listrik. Biaya yang dibutuhkan untuk utilitas bervariasi tergantung pada jumlahnya konsumsi, lokasi pabrik, dan sumber [6].

Steam digunakan untuk media pemanas dalam industri. *Steam* didapatkan dari proses *demineralized water unit* dan *condensate polishing unit* [11]. *Steam* dihasilkan dari alat yaitu *boiler*. Menurut Pratama, dkk. (2021), *boiler* adalah bejana/wadah yang berisi dengan air atau cairan lain untuk dipanaskan. Dalam proses konversi energi, boiler memiliki fungsi untuk mengubah energi kimia yang terkandung pada bahan bakar menjadi energi panas, kemudian ditransfer ke fluida kerja [12]. Ada beberapa jenis *boiler*, salah satunya adalah *water tube boiler*. *Boiler* jenis ini dipilih karena memiliki beberapa kelebihan seperti membutuhkan ruang yang lebih kecil, batas tekanan *boiler* dan *steam rate* lebih besar daripada *fire tube* [13]. Jumlah *steam* yang digunakan dalam proses dihitung menurut pemakaian setiap harinya untuk masing-masing alat. Dari perhitungan neraca panas, kebutuhan *steam* dilampirkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan *steam* pada alat proses

No	Nama Alat	No. Alat	Tekanan (atm)	Rate (kJ/jam)	Rate (kg/jam)
1	Evaporator	V-510	1	7.251.190	3.429,27
2	Evaporator	V-520	1	22.905.743	7.368,53
Total				29.905.743	10.797,8

Kebocoran akibat perpindahan panas diperkirakan sebesar 10% dari total *steam* yang digunakan, sedangkan untuk faktor keamanan sebesar 10% dari total *steam*. Sehingga jumlah kuantitas *steam* yang harus dihasilkan oleh *boiler* sebesar 120% dari kebutuhan *steam*. *Rate steam* didapatkan sebesar 12.957,36 kg/jam.

Tabel 2. Spesifikasi boiler

Tekanan steam (atm)	T (°C)	λ (kJ/kg)	Tipe Boiler	Fuel Efficiency
2	150	1007,73	Water Tube	3.429,27

Dari rumus perhitungan kapasitas boiler didapatkan sebesar 12.378.529,33 btu/jam. Boiler horsepower didapatkan sebesar 4.611,84 btu/jam, luas perpindahan panas boiler sebesar 48.648,1 ft², dan kebutuhan air sebesar 48.648,1 ft³. Bahan bakar yang digunakan adalah batu bara *antrachite (coal)* dengan *heating value* (Hv) = 15.480 btu/lb. Kebutuhan batu bara sebesar 0,18 kg/jam atau 4,32 kg/hari. Biaya yang dibutuhkan untuk bahan bakar batu bara sebesar Rp. 4.800,00/kg, sehingga biaya bahan bakar per hari sebesar Rp 20.736,00/hari atau Rp. 6.842.880,00/tahun (US\$ 459.649,00/tahun).

Menurut Ekawati, dkk. (2020), air merupakan bahan yang paling banyak digunakan dalam unit utilitas, sehingga jumlah dan syarat air harus dipenuhi [14]. Pada unit penyedia air, air yang diperlukan menjadi tiga, yaitu air sanitasi, air pendingin, air umpan proses dan boiler. Sumber air didapatkan dari sungai yang ada di dekat lokasi prarancangan pabrik. Air sanitasi merupakan air yang digunakan untuk keperluan para karyawan di lingkungan pabrik. Penggunaannya antara lain untuk konsumsi, mencuci, mandi, memasak, laboratorium, perkantoran, dan lain-lain. Air sanitasi memiliki syarat fisik, kimia, dan bakteriologi. Syarat fisik berupa, suhu dibawah suhu udara sekitar, warna jernih, tidak berasa, kekeruhan SiO₂ tidak lebih dari 1 mg/L. Syarat kimia berupa pH 6,5 - 8,5 dan tidak mengandung zat terlarut yang berupa zat organik dan anorganik seperti PO₄, Hg, Cu, dan sebagainya. Syarat bakteriologi seperti tidak mengandung kuman atau bakteri, terutama bakteri patogen, dan kandungan bakteri *E. coli* kurang dari 1/100 mL. Untuk memenuhi persyaratan tersebut maka setelah penjernihan, air harus diberi desinfektan seperti seperti klor atau kaporit.

Kebutuhan air untuk 143 karyawan sebesar 2.145 kg/jam. Kebutuhan laboratorium dan musholla diperkirakan 20% dari kebutuhan karyawan, sehingga didapatkan sebesar 429 kg/jam. Untuk keperluan pemadam kebakaran dan cadangan air diperlukan 40% excess air dari total kebutuhan air sanitasi sebesar 600,6 kg/jam. Total air sanitasi yang didapatkan sebesar 3.174,6 kg/jam atau 76,32 m³/hari.

Tabel 3. Kebutuhan air pendingin pada alat

No	Nama Alat	No. Alat	Rate (kg/jam)
1	Cooler	E-512	624,118
2	Kondensor 1	E-513	92.160,652
3	Kondensor 2	E-523	504.042,36
Total			596.827,13

Air pendingin adalah air yang digunakan untuk menyerap panas yang berlebihan pada suatu alat proses [15]. Pada kebutuhan air pendingin, air merupakan materi yang mudah didapat dan relatif murah, tidak mudah mengembang atau menyusut dengan adanya perubahan suhu, mudah dikendalikan, dan tidak mudah terdekomposisi. Syarat air pendingin tidak boleh mengandung *hardness* yang memberikan efek pada pembentukan kerak, silika

penyebab korosi, minyak yang dapat menyebabkan turunnya *heat transfer*. Pada air pendingin ditambahkan zat kimia yang bersifat menghilangkan kerak, lumut, jamur dan korosi. Kebutuhan air pendingin pada proses prarancangan pabrik *disproportionated rosin* ini sebesar 598,023 m³/jam atau 14.352,55 m³/hari.

Pada kebutuhan air proses, yang perlu diperhatikan dalam air proses tidak boleh mengandung kesadahan (*hardness*) yang dapat menyebabkan kerak, besi yang dapat menimbulkan korosi, minyak yang dapat menyebabkan terbentuknya lapisan film yang mengakibatkan terganggunya koefisien transfer panas serta menimbulkan endapan. Kebutuhan air proses sebesar 9,619 m³/jam atau 230,868 m³/hari.

Tabel 4. Kebutuhan air proses pada alat

No	Nama Alat	No. Alat	Rate (kg/jam)
1	Mixing Tank	M-210	184
2	Reaktor	R-310	9.416,268
Total			9.600,268

Air umpan *boiler* merupakan air yang akan dijadikan steam untuk menjadi air umpan *boiler* maka air harus memenuhi syarat-syarat seperti, kesadahan (*hardness*) mendekati *trace*, oksigen terlarut serendah mungkin, dan tidak membentuk kerak dan korosif. Kebutuhan air *boiler* sebesar 10,81 m³/jam atau 259,67 m³/hari. Total kebutuhan air didapatkan sebesar 14.919,434 m³/hari. Biaya *treatment* air sebesar Rp. 1.000,00/hari, sehingga biaya yang dibutuhkan untuk *treatment* air per hari sebesar Rp. 14.919.434,07/hari atau Rp. 4.923.413.242,656/tahun (US\$ 330.715.514/tahun).

Pada unit penyedia listrik, kebutuhan listrik dibagi menjadi dua yaitu kebutuhan listrik proses dan non proses seperti penerangan dan lain-lain. Kebutuhan daya (hp) didapatkan dari perhitungan spesifikasi alat sehingga setelah diperoleh data tersebut maka akan dikonversikan ke kilowatt (kW). Kebutuhan utilitas listrik proses didapatkan sebesar 365,613 kW/h. Kebutuhan listrik penerangan pabrik menyesuaikan dari Kusnarjo [16]. Total kebutuhan listrik penerangan sebesar 25,26 kW/h. Kebutuhan listrik lain seperti lemari es, AC dan lain-lain ditetapkan 28,5 kW/h. Total kebutuhan listrik keseluruhan sebesar 419,373 kW/h. Biaya listrik sebesar Rp. 1.444,7 per kW/h, sehingga total biaya listrik sebesar Rp 4.521.493.683,78/tahun Karena adanya efisiensi listrik sebesar 80%, maka total biaya listrik sebesar Rp. 3.617.194.947,00 (US\$ 242.974,219/tahun).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Analisis utilitas pada prarancangan pabrik *disproportionated rosin* dari gondorukem *grade WG* dengan metode asetonisasi kapasitas 3000 ton/tahun dibagi menjadi tiga jenis utilitas, yaitu unit penyedia *steam*, unit penyedia air, dan unit penyedia listrik. Unit penyedia *steam* berupa *boiler* dengan tipe *water tube* dengan biaya bahan bakar per hari sebesar Rp 20.736,00/hari atau Rp. 6.842.880,00/tahun (US\$ 459.649,00/tahun). Sumber unit penyedia air berasal dari sungai terdekat lokasi prarancangan pabrik dengan biaya untuk *treatment* air per hari sebesar Rp. 14.919.434,07/hari atau Rp. 4.923.413.242,656/tahun (US\$ 330.715.514/tahun). Unit penyedia listrik berasal dari PLN dengan total biaya listrik sebesar

Rp 4.521.493.683,78/tahun atau Rp. 3.617.194.947,00 (US\$ 242.974,219/tahun) dengan efisiensi listrik sebesar 80%.

Pada penelitian selanjutnya diharapkan mencantumkan pemilihan jenis *boiler* dan alasannya pada prarancangan pabrik *disproportionated rosin*, dan melakukan analisis biaya utilitas pada prarancangan pabrik *disproportionated rosin* dari metode pembuatan yang berbeda dan *grade gum rosin* lainnya.

REFERENSI

- [1] Perusahaan Umum Perhutani, "Laporan Tahunan Perum Perhutani Tahun 2018," 2018.
- [2] F. F. Shufa, "Studi Ratio Mol Gum Rosin/Asam Fumarat dan Konsentrasi Katalis P-Toluene Sulfonic Acid (PTSA) pada Esterifikasi Fumaric Modified Rosin Ester," Skripsi, Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2020.
- [3] D. Q. A. Putri dan A. Chumaidi, "Sintesa DPR (Disproportionated Rosin) Dari Gum Rosin Grade X Secara Batch," vol. 7, no. 2, hlm. 302–309, 2021.
- [4] M. Frances, Y. Gardere, M. Rubini, E. Duret, L. Leroyer, T. Cabaret, A. Bikoro Bi Athomo, B. Charrier, "Effect of heat treatment on Pinus pinaster rosin: A study of physico chemical changes and influence on the quality of rosin linseed oil varnish," *Ind Crops Prod*, vol. 155, Nov 2020.
- [5] L. Wang, X. Chen, J. Liang, Y. Chen, X. Pu, dan Z. Tong, "Kinetics of the catalytic isomerization and disproportionation of rosin over carbon-supported palladium," *Chemical Engineering Journal*, vol. 152, no. 1, hlm. 242–250, Okt 2009.
- [6] M. S. Peters dan K. D. Timmerhaus, *Plant design and economics for chemical engineers*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 1991.
- [7] W. Asyrofa, "Desain Unit Utilitas pada Prarancangan Pabrik Propilen Glikol Kapasitas 50.000 Ton/Tahun," Thesis (Under Graduates), Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2019.
- [8] A. Wardah, A. P. Ramadhanty, D. A. Amalia, dan N. 'Azmi Pradita, "Pra Rancangan Pabrik Disproportionated Rosin (DPR) dari Gum Rosin Melalui Proses Netralisasi Asam Klorida dengan Kapasitas 2500 Ton Per Tahun," Laporan Pra Rancangan Pabrik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Malang, 2021.
- [9] A. Salsabila, I. A. Khadijah, C. B. Kubha, dan I. A. Suwandi, "DPR (Disproportionated Rosin) dengan Kapasitas 2700 Ton/Tahun," Laporan Pra Rancangan Pabrik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Malang, 2021.
- [10] D. R. Mahendra, E. K. Kartikasari, R. A. Chabibah, dan S. Habiba, "DPR (Disproportionated Rosin) dengan Kapasitas 2000 Ton/Tahun," Tugas Prarancangan Pabrik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Malang, 2021.
- [11] M. R. Mumtazy, S. T. W. Amelia, A. Wiguno, dan K. Kuswandi, "Pra Desain Pabrik Minyak Kayu Putih dari Daun Kayu Putih," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 9, no. 2, Feb 2021.
- [12] N. M. P. Pratama, Danial, dan M. Taufiqurrahman, "Analisa Efisiensi Water Tube Boiler Dengan Menggunakan Metode Langsung," *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (JTRAIN)*, vol. 2, no. 2, hlm. 105–110, 2021.
- [13] Kunarto, "Analisis Efisien Boiler Pabrik Kelapa Sawit dengan menggunakan Bahan Bakar Fibre dan Cangkang," Bandar Lampung, 2019.

- [14] S. Ekawati, B. R. R. Gayatri, P. Prakoso, dan A. Chumaidi, "Analisa Ekonomi Prarancangan Pabrik Kimia Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Biji Randu (Ceiba Pentandra) Menggunakan Katalis Heterogen Cao Dengan Kapasitas 22.000 Ton/Tahun," *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 6, no. 2, hlm. 241–248, Mei 2023.
- [15] I. Dhamayanthie dan D. F. Nugraha, "Proses Pengolahan Air Pendingin Pada Unit Utilitas Area Karawang," *Jurnal Migasian*, vol. 2, no. 1, hlm. 15–21, Jun 2018.
- [16] Kusnarjo, *Desain Pabrik Kimia*. Surabaya, 2010.