



## **Analisis Perpindahan Kalor Kondensor pada Proses Distilasi Bioetanol Sebagai Biofuel dari Campuran Limbah Buah Salak dengan Limbah Air Kelapa**

### ***Analysis of the Condenser Heat Transfer in the Bioethanol Distillation Process as a Biofuel from a Mixture of Salak and Coconut Water Waste***

Muhammad Idris <sup>1)\*</sup>

Uun Novalia Harahap <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Teknik Mesin, Universitas Harapan Medan

<sup>2)</sup> Teknik Industri, Universitas Harapan Medan

\* idrissurv@gmail.com

---

#### **Abstrak**

Cadangan bahan bakar fosil Indonesia akan segera habis. Indonesia harus segera melakukan inovasi dan temuan bahan bakar alternative untuk menggantikan bahan bakar fosil tersebut untuk menghindari krisis dan isu lingkungan. Biomassa sebagai salah satu sumber bahan bakar alternative yang tersedia dalam jumlah banyak di Indonesia. Melalui beberapa tahapan proses biomassa dapat dirubah menjadi bahan bakar bioethanol secara termokimia yaitu distilasi. Distilasi merupakan proses pemisahan fasa berdasarkan titik didih fasa itu sendiri. Uap mengalir dalam pipa dan masuk ke dalam kondensor berukuran  $\varnothing 8.89 \times 10^{-2}$  m dan panjang L  $3.4 \times 10^{-2}$ , dan mengalami perpindahan panas secara konveksi. Perbedaan temperature pada proses kondensasi antara fluida uap yang mengalir dalam pipa dengan fluida air pendingin yang mendinginkan dinding kondesor direkam menggunakan perangkat akuisisi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perpindahan panas konveksi pada kondensor dan mengitung hasil luaran bioethanol secara teoritis berdasarkan massa kondensat uap fermentor. Dari hasil analisis diperoleh perpindahan panas konveksi sebesar 0.2752 kW. Laju massa uap fermentor  $1.192 \times 10^{-4}$  kg/s, koefisien perpindahan kalor kondensasi 340.7161 W/m<sup>2</sup> OC, laju massa kondensat  $1.01 \times 10^{-5}$  kg/s. Laju massa kondensat yang diperoleh 8% merupakan hasil luaran biofuel atau bioethanol.

Kata kunci: Konveksi; Kondensasi; Bioetanol

#### **Abstract**

Indonesia's fossil fuel reserves will soon run out. Indonesia must immediately innovate and search alternative fuels to replace fossil fuels to avoid crises and environmental issues. Biomass as one of the alternative sources of fuel available in large quantities in Indonesia. Through several stages, the process of biomass can be converted into bioethanol fuel by thermochemistry, namely distillation. Distillation is a phase separation process based on the boiling point itself. Steam flows in the pipe and goes into a condenser measuring  $\varnothing 8.89 \times 10^{-2}$  m and length L  $3.4 \times 10^{-2}$ , and undergoes convection heat transfer. The temperature difference in the condensation process between the vapor fluid flowing in the pipe and the cooling water fluid that cools the condenser wall is recorded using the acquisition role. Therefore, this study aims to analyze the convection heat transfer in the condenser and to calculate the bioethanol output theoretically based on the mass of the fermenter vapor condensate. From the analysis results obtained convection heat transfer of 0.2752 kW. The fermenter vapor mass rate is  $1,192 \times 10^{-4}$  kg / s, the condensation heat transfer coefficient is 340.7161 W / m<sup>2</sup> OC, the condensate mass rate is  $1.01 \times 10^{-5}$  kg / s. The condensate mass rate obtained by 8% is the result of biofuel or bioethanol output

Key words: Convection; Condensation; Bioethanol

---

**Muhammad Idris, Analisis Perpindahan Kalor Kondensor Pada Proses Distilasi Bioetanol Sebagai Biofuel Dari Campuran Limbah Buah Salak Dengan Limbah Air Kelapa**

---

***How to Cite:*** Idris, M. 2018, Analisis Perpindahan Kalor Kondensor pada Proses Distilasi Bioetanol Sebagai Biofuel dari Campuran Limbah Buah Salak dengan Limbah Air Kelapa, JMEMME, 2 (2): 43-50

---

## PENDAHULUAN

Krisis bahan bakar fosil yang terjadi di Indonesia telah memaksa Indonesia untuk melakukan import bahan bakar dalam bentuk minyak mentah. Dampak dari kebijakan tersebut, pada tahun 2015 Indonesia mengalami defisit anggaran sebesar Rp. 2.1 triliun untuk menanggulangi hal tersebut (Heri, Deden, Bambang, & Mustika, n.d.)

Potensi cadangan minyak bumi Indonesia pada tahun 2014 hanya bersisa 3.6 milyar barel, jika Indonesia tidak segera melakukan temuan-temuan bahan bakar alternative maka minyak bumi di Indonesia akan habis dalam 12 tahun kedepan. Di sisi lain, emisi gas buang (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> dll) dari bahan bakar fosil memberikan dampak negative bagi lingkungan dan kesehatan (Hao Chen a, Jingjing He a, 2018)

Sumber energi alternative di Indonesia sangat melimpah jumlahnya, salah satunya adalah energi biomassa, dari jumlah potensi yang tersedia (Administration, 2010) dari jumlah yang tersedia, hanya 5.4% saja yang memberikan kontribusi bagi kebutuhan bahan bakar di dalam negeri (Heri, Deden, Bambang, & Mustika, 2015).

Biomassa merupakan bahan alami yang diperoleh dari tumbuhan, hewan dan bahan-bahan organik lainnya (Prabir, 2010). Secara umum biomassa dapat diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu keras dan lunak dapat dan kedua dapat dijadikan biofuel. Untuk mendapatkan biofuel membutuhkan beberapa tahapan dan ketentuan berdasarkan macamnya. Penelitian ini focus pada biomassa lunak berdasarkan pertimbangan ketersediaan bahan baku, alat dan energi yang dibutuhkan untuk mendaatkan hasil luaran

dari biomassa tersebut. Salah satu hasil luaran biomassa tersebut adalah bioetanol.

Proses untuk mendapatkan *biofuel* (bioethanol) dari biomassa lunak melalui tiga tahapan; termokimia (hidrolisis) - biokimia (fermentasi) - termokimia (distilasi). Hidrolisis merupakan proses pemecahan rantai tiga unsur (sellulosa, hemisellulosa dan lignin), fermentasi merupakan proses perubahan sakrosa menjadi monosakarida dan destilasi merupakan proses pemisahan bioethanol berdasarkan titik didihnya (berkisar 85°C) (Megawati, 2015)

Distilasi merupakan proses memanaskan bahan fermentor dalam bejana hingga bioethanol menguap dan terpisah dari fasa lain pada temperature referensinya. Pada dasarnya proses ini merupakan proses perpindahan panas secara konveksi pada elemen pemanas yang menyentuh fluida fermentor, sebagaimana prinsip kerja boiler untuk menghasilkan uap. Namun penulis tidak membahas fenomena perpindahan panas pada bejana distilasi. Focus utama pada penelitian ini adalah perpindahan panas pada tabung kondensor.

Uap yang terpisah akibat pemanasan selanjutnya disebut volatile akan mengalami proses kondensasi pada tabung kondensor, fenomena ini merupakan proses perpindahan panas dengan metode konveksi paksa (Walujodjati, 2006) antara fluida air yang menyentuh dinding pipa kondensor dengan uap bioethanol.

Kondenser merupakan peralatan penting dalam proses distilasi. Secara umum kondensor dipasang pada pembangkit tenaga uap (Marle & Craig, 2011) setelah uap bekerja memutar tubin,

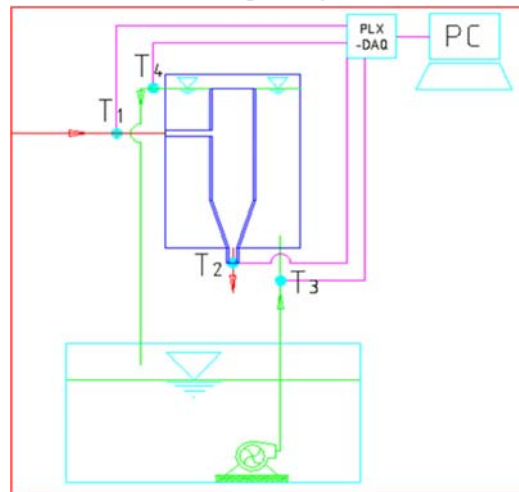
**Muhammad Idris, Analisis Perpindahan Kalor Kondensor Pada Proses Distilasi Bioetanol Sebagai Biofuel Dari Campuran Limbah Buah Salak Dengan Limbah Air Kelapa**

(rotor) (Liu, Wang, Chen, Liu, & Yan, 2017), uap akan masuk ke dalam condenser dan mengalami kondensasi sehingga uap tersebut menyublim menjadi cair, kemudian dipompakan kembali menuju boiler, fenomena ini sesuai dengan system pembangkit uap sederhana tertutup.

Penelitian ini merujuk pada system kerja pembangkit uap sederhana, namun berbeda pada temperature dan tekanan kerjanya. Larutan fermentor pada distilator (boiler) diasumsikan sebagai fluida air yang dipanaskan, oleh karena itu untuk menentukan sifat fluida fermentor akan merujuk pada sifat fluida air pada kondisi referensi kerjanya.

Larutan fermentasi pada bejana distilasi dipanaskan hingga mencapai 85°C (Rama et al., 2008) Besarnya panas yang harus dibuang oleh kondensor dan konveksi persatuan panjang akan dianalisis berdasarkan teori perpindahan panas, data pengukuran diambil langsung menggunakan perangkat alat ukur *aquisisi Parallax Microcontroller Data Aquisitin* (PLX-DAQ). Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis perpindahan panas secara konveksi pada tabung kondensor dan menghitung massa uap kondensat per satuan waktu sebagai hasil luaran bahan bakar bioethanol.

kondensor (T1) diilustrasikan dengan garis merah dan keluar setelah mengalami kondensasi pada temperature 30 °C (T2). Air pendingin (garis hijau) dipompakan dari tangki air masuk pada T3 dengan temperature 28 °C dan keluar setelah melewati tabung kondensor pada T4 35 °C kembali ke tangki, pengambilan data ini selama 725 detik. Pertimbangan waktu t ini dilakukan saat mulai terjadi kondensasi massa uap fermentor hingga berakhir eksperimen. kedua fluida saling berlawanan arah. Untuk merekam data T1, T2, T3 dan T4 secara kontinu selama proses, perangkat ukur teraquisisi dipasang sebagaimana yang telah dijelaskan di atas. Peralatan dan metode pada penelitian ini akan diilustrasikan pada gambar 1.



Gambar 1. Metode pengukuran pada kondensor

**PERALATAN EKSPERIMEN DAN METODE PENELITIAN**

**Peralatan Eksperimen**

Penelitian ini melibatkan dua fluida, fluida uap yang dihasilkan dari proses distilasi dan fluida air sebagai pendingin kondensasi yang disirkulasikan sekeliling tabung kondensor, seperti yang terlihat pada gambar 1. Fluida uap pada temperature 80 °C masuk ke dalam

**Perpindahan Kalor Konveksi**

Perpindahan kalor konveksi paksa secara teoritis pada dinding tabung kondensor sama dengan kalor yang dibuang oleh kondensor dihitung dengan menggunakan persamaan hukum Newton:

$$q = hA (T_w - T_{\infty}) \dots\dots\dots (1)$$

dan perpindahan kalor per satuan panjang dihitung berdasarkan persamaan:

$$q/L = hA (T_w - T_\infty) \dots \dots \dots (2)$$

dimana, jumlah perpindahan kalor q (W), koefisien perpindahan kalor konveksi paksa untuk permukaan tabung vertical

$h = 4000 \text{ W/m}^2 \text{ OC}$  (Holman, 2010), luas permukaan tabung  $1.321 \times 10^{-3} \text{ m}^2$  temperature permukaan  $T_w$  (80 OC), Suhu fluida  $T_\infty$  (28 OC).

**Laju Aliran Massa Uap ( $\dot{m}$ )**

Laju aliran massa uap (kg/s) secara teoritis dihitung dengan mengasumsikan bahwa fluida uap merupakan campuran uap – cairan pada kondisi saturasi. Sehingga sifat (entalpi saturasi) dapat diketahui berdasarkan tabel propertis (Yunus & Michael, 2006) pada temperature 80°C, entalpi campuran pada kondisi saturasi  $h_{fg} = 2308.0 \text{ kJ/kg}$ . maka laju aliran massa fluida adalah:

$$\dot{m} = \frac{q}{h_{fg}} \text{ (kg/s)} \dots \dots \dots (3)$$

**Kondensasi Film**

Uap 80 OC, mengalir di dalam tabung kondesor vertical dengan berdiameter  $8.92 \times 10^{-2} \text{ m}$ , bersentuhan dengan air pendingin yang dipompakan dari tanki air menyebabkan perpindahan panas secara konveksi (paksa). Pada permasalahan ini angka Reynold harus dibuktikan terlebih dahulu sehingga dapat diketahui bahwa kondensasi pada tabung termasuk kondensat laminar atau turbulen. Dipergunakan metode trial and error bahwa kondensasi film adalah laminar, maka dapat dihitung dengan persamaan (4)

$$\tilde{h} = C \left[ \frac{\rho_f^2 g h_{fg} (k_f^3)}{L \mu_f (T_g - T_f)} \right]^{\frac{1}{4}} \left( \frac{W}{m^2} \right) \dots \dots (4)$$

Nilai C merupakan koefisien kondensasi untuk silinder vertical 0.943. Sifat-sifat fluida pada temperature film pada tekanan 1 atm ditentukan dengan menjumlahkan temperature uap dengan temperature air pendingin, membagi dua seperti yang

terlihat pada tabel 1. Sedangkan sifat-sifat uap fermentor diasumsikan dengan sifat air jenuh pada temperature uap masuk ke kondensor 80 °C (Yunus & Michael, 2006).

Tabel 1. Sifat campuran fluida pada kondisi jenuh

T (^C)	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\mu$ kg/m.s	k (W/m .^C)	hfg (kJ/kg) pada 80^C
54.0	987.43	5.201	0.651	2308

Selanjutnya membuktikan angka Reynold menggunakan persamaan (5) dan massa uap kondensasi menggunakan persamaan (3):

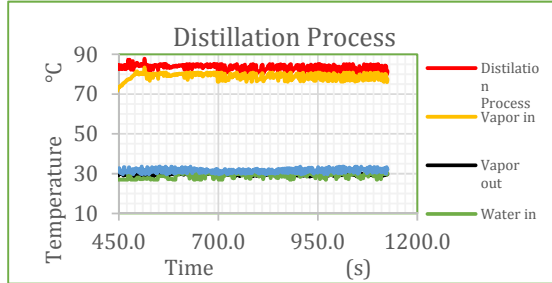
$$Re = \frac{4hL(T_g - T_f)}{h_{fg}\mu_f} \dots \dots \dots (5)$$

**Metode Pengukuran**

Temperature kerja kondensor direkam selama proses distilasi. Pengambilan data dimulai dari detik ke 450 hingga 1125, hal karena pada waktu tersebut kendensai mulai terjadi. Dengan perangkat PLXDAQ: tipe ATmega2560V/ATmega2561V: 0 - 2MHz @ 1.8V - 5.5V, 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V. data temperature diambil. Setiap titik pengamatan dipasang alat ukur temperature (k-type thermocouple) dengan spesifikasi: *Thermocouple grade wire, -454 to 2,300 °F (-270 to 1260 °C) Extension wire, 32 to 392 °F (0 to 200 °C)*.

Gambar 2 merupakan hasil pengamatan dan pengukuran temperature selama proses distilasi. Garis merah adalah pengukuran pada posisi bejana distilasi, garis kuning adalah pengukuran pada uap masuk ke tabung kondensor, garis biru adalah pengukuran pada air masuk sebagai pendingin kondesor, garis hijau adalah pengukuran air keluar setelah mendinginkan tabung kondensor dan garis

hitam adalah uap keluar dari kondensor.



Gambar 2. Metode pengamilan data

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perpindahan Kalor Konveksi

Perpindahan kalor konveksi pada penelitian ini dengan menggunakan konveksi paksa, dimana air sebagai fluida pendingin dipompakan melalui pipa berdiameter  $2.45 \times 10^{-1}$  ke tabung kondensor dengan kapasitas aliran 0.5 kg/s. Sehingga perpindahan kalor konveksi pada tabung kondensor selama proses distilasi diperoleh sebesar 274.9635 W. Dengan menggunakan data pengukuran pada alat ukur yang dipasang pada variable yang dimaksud dan menggunakan persamaan (1) dapat diuraikan sebagai berikut:

$$q = 4000 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \times (1.321 \times 10^{-3} \text{ m}^2) \times (80 \text{ } ^\circ\text{C} - 28 \text{ } ^\circ\text{C}) = 275.2137 \text{ W} = 0.2752 \text{ kW}.$$

Perpindahan kalor total persatuan panjang kondensor sepanjang  $3.4 \times 10^{-1}$  m dihitung dengan persamaan (2) dan diperoleh 0.8095 kW/m.

### Laju Aliran Massa Uap ( $\dot{m}$ )

Laju aliran massa uap ( $\dot{m}$ ) secara teoritis merupakan kapasitas panas yang hilang selama terjadi perpindahan kalor secara konveksi berbanding dengan entalpi campuran pada kondisi jenuh pada temperature 80 °C, maka:  $\dot{m} = (0.2752 \text{ kW}) / (2308 \text{ kJ/kg}) = 1.192 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$ . Hal ini menarik jika dibandingkan dengan penelitian yang telah dipublikasikan oleh

(Homma, Homma, & Idris, 2014), pada proses pirolisis biomassa.

Biomassa sebagai bahan baku yang dipanaskan di dalam bejana reactor selama 890detik, akan terjadi penguraian tiga komposisi pada biomassa tersebut sehingga memicu laju aliran uap  $1.0 \times 10^{-2}$  m/detik.

Berdasarkan kedua hasil yang diperoleh, memiliki perbedaan cukup signifikan ini, penulis memberikan pandangan bahwa, pada proses distilasi selama 1125 detik dengan temperature kontrol selama proses antara 80 – 85 °C, larutan fermentor menguap dalam kondisi saturasi dan basah sehingga memiliki massa yang lebih besar. Sedangkan uap volatile yang mengurai pada proses pirolisis merupakan uap yang cenderung mendekati uap kering dengan proses pemanasan pada temperature yang lebih tinggi sehingga massa uap pirolisis lebih ringan dibanding dengan massa uap distilasi.

### Kondensasi Film

Kondensasi film merupakan metode untuk menghitung jumlah massa uap yang terkondensasi menjadi cair (massa kondensat). Namun untuk menghitung massa kondensat, angka Reynold harus terlebih dahulu ditentukan. Sementara massa kondensat ditentukan oleh nilai koefisien perpindahan kalor dan koefisien perpindahan kalor ditentukan oleh angka Reynold, oleh karena itu dipergunakan metode trial and error untuk menyelesaikan permasalahan ini, dengan asumsi bahwa kondensasi film adalah laminar, sehingga pada temperature saturasi 100 °C dan tekanan 1 atm diperoleh sifat-sifat fluida, seperti yang terdapat pada tabel 2. Sehingga koefisien perpindahan

k calor diperoleh dengan persamaan (4)  $\tilde{h} = 0.943 \left[ \frac{(987.43)^2(9.81)(2308)(0.6513)^3}{(0.34)(5.2014)(80-28)} \right]^{\frac{1}{4}} = 340.7161 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  dan angka Reinold diperoleh dengan persamaan (5):

$$Re = \frac{4(123.52)(0.34)(100-80)}{(2256.4)(3.186)} = 2.0071$$

dengan nilai ini maka asumsi kondensasi film laminar adalah benar.

Perpindahan kalor kondensasi film, dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dan mengambil nilai koefisien perpindahan kalor yang diperoleh pada pada temperature jenuh dan tekanan 1 atm, maka jumlah perpindahan kalor diperoleh:  $q = (340.7161) (1.321 \times 10^{-3}(80-28)) = 23.4424 \text{ W} = 0.0234 \text{ kW}$

Maka massa uap kondensat diperoleh berdasarkan persamaan (3)  $\dot{m} = (0.0234 \text{ (kW)}) / (2308 \text{ (kJ/kg)}) = 1.01 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$ .

Nilai ini sangat logis jika dibanding dengan nilai laju aliran massa uap  $\dot{m}_{\text{fermentor}} = 1.191 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$  selama proses distilasi, hal ini memiliki makna bahwa ada massa uap fermentor yang terkondensasi sebesar 8%.

## KESIMPULAN

Krisis bahan bakar fosil di Indonesia merupakan permasalahan serius untuk segera diatasi. Jika tidak segera mencari solusi, maka 12 tahun ke depan cadangan bahan bakar fosil akan habis. Disisi lain emisi gas buang penggunaan bahan bakar fosil banyak menimbulkan masalah bagi lingkungan dan kesehatan manusia.

Biomassa merupakan sumber energi alternative yang ramah lingkungan. Biomassa memiliki potensi yang besar untuk dikonversi menjadi bahan bakar cair (bioethanol) dan mampu menggantikan bahan bakar cair fosil, sebab ketersediannya sangat melimpah.

Bioethanol diperoleh dari beberapa tahapan proses, salah satunya adalah dengan cara distilasi. Pada proses distilasi, bahan fermentor dipanaskan hingga mencapai 85  $^\circ\text{C}$  agar menguap dan uap tersebut dialirkan melalui pipa menuju kondesor untuk tujuan kondensasi agar mecair kembali dan menjadi bioethanol.

Laju aliran massa uap diperoleh dari perhitungan teoritis sebesar  $1.191 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$ . Pada proses kondensasi terjadi perpindahan panas secara konveksi paksa  $q = 274.9635 \text{ W}$  oleh air pendingin yang dipompakan dengan kapasitas aliran 0.5 kg/s.

Bilangan Reynold dibuktikan dengan metode trial and error, sehingga dibuktikan bahwa kondensasi film dalam bentuk aliran laminar. Kondensai film (massa uap kondensat) yang diklaim sebagai hasil luaran bioethanol diperoleh  $\dot{m} = 1.01 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$ .

Nilai ini sangat logis jika dibandingkan dengan laju aliran massa fluida uap sebelum kondensasi  $\dot{m} = 1.191 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$ , artinya 8 % uap fermentor menjadi bioethanol.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM), Kementerian Riset dan Teknologi yang telah memberikan pembiayaan penelitian pada Penelitian Dosen Pemula (PDP) dengan SK. Nomor 3/E/KPT/2018. Ucapan terimakasih penulis ucapkan juga kepada ketua LP2M dan Rektor Universitas Harapan Medan serta semua pihak yang terlibat dalam menyelesaikan penelitian ini

**Muhammad Idris, Analisis Perpindahan Kalor Kondensor Pada Proses Distilasi Bioetanol Sebagai Biofuel Dari Campuran Limbah Buah Salak Dengan Limbah Air Kelapa**

**DAFTAR PUSTAKA**

- Administration, I. T. (2010). Assessment Report : Indonesia. *Renewable Energy*, 2, 1-10.
- Hao Chen a, Jingjing He a, X. Z. b a. (2018). Engine combustion and emission fuelled with natural gas: A review. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 49(3), 929-939. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2018.06.005>
- Heri, N., Deden, S., Bambang, P., & Mustika, P. (n.d.). *Outlook Energi Indonesia 2016*. (A. Saleh, Ed.). Jakarta: Dewan Energi Nasional.
- Heri, N., Deden, S., Bambang, P., & Mustika, P. (2015). *Indonesia Energy Outlook 2015*. (A. Saleh, Ed.). Jakarta: Dewan Energi Nasional.
- Homma, H. H., Homma, H. H., & Idris, M. (2014). Numerical Analysis on Wood Pyrolysis in Pre-Vacuum Chamber. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 2014(September), 149-160. <https://doi.org/10.4236/jsbs.2014.43014>
- Liu, G., Wang, J., Chen, T., Liu, J., & Yan, J. (2017). Experimental study on heat transfer characteristics of a condenser in the presence of air. *Applied Thermal Engineering*, 120, 170-178. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.03.139>
- Marle, C. P., & Craig, W. S. (2011). Termodinamika Teknik. In Simarmata Lemeda (Ed.), *Thermodynamic for Engineers* (Kedua, p. 43). Jakarta: Erlangga.
- Megawati. (2015). *Bioetanol Generasi Kedua*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Prabir, B. (2010). *Biomass gasification and pyrolysis*. *Comprehensive Renewable Energy* (Vol. 5). Burlington: Elsevier Inc. All rights reserved. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087872-0.00514-X>
- Rama, P., Kartika, N., Praptiningsih Adinurani, G., Dwi, S., Sigit, S., & Roy, H. (2008). *Bioetanol Ubi Kayu: Bahan Bakar Masa Depan*. *Revista De Logística* (Kelima). Jakarta: PT. Agromedia Pustaka.
- Walujodjati, A. (2006). Perpindahan panas konveksi paksa, 2, 21-24.
- Yunus, C. A., & Michael, B. A. (2006). Appendix 1 (Fifth Edit, pp. 909-999). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42548-5.50011-8>