

Pengaruh Putaran Agigator terhadap Temperatur dan Energi Perpindahan Panas *Water Jacket* dan Tangki Reaktor

Diantino Zulfikar¹, Djoko Wahyudi^{2*}, Indah Noor Dwi Kusuma Dewi³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Panca Marga
Jalan Yos Sudarso 107 Pabean Dringu Probolinggo – Jawa Timur

*Email: djokowahyudi@upm.ac.id

Revisi 3 Oktober; Diterima 10 November; publikasi Online 15 Desember 2025

Abstrak, Pemurnian merupakan tahapan penting untuk memisahkan etanol dari cairan hasil fermentasi (*fermentation broth*) alkohol. Proses ini mencakup pemurnian dan dehidrasi guna menghasilkan etanol murni yang dapat digunakan sebagai bahan bakar atau campuran bahan bakar bensin. Suhu merupakan salah satu faktor kunci dalam proses pemurnian bioetanol di dalam reaktor. Efek dari suhu dapat mempengaruhi berbagai aspek proses pemurnian, termasuk efisiensi, selektivitas, reaksi kinetika, dan kualitas produk akhir. Proses pemurnian etanol memerlukan pemahaman yang mendalam mengenai perpindahan panas dalam reaktor, khususnya perpindahan panas melalui konduksi dan konveksi. Untuk mengoptimalkan proses pemurnian serta meningkatkan kadar etanol hasil pemurnian dengan menggunakan reaktor berkapasitas 20 liter dan konsentrasi awal etanol 70%, penelitian ini bertujuan menganalisis bagaimana perpindahan panas terjadi dalam reaktor dan bagaimana pengaruhnya terhadap hasil pemurnian etanol. Hasil pengujian menunjukkan bahwa etanol yang digunakan mengalami deviasi dari standar SNI, khususnya pada parameter densitas dan titik nyala, yang menandakan kemurnian etanol kurang optimal. Hal ini penting dicermati dalam konteks perpindahan panas karena viskositas menentukan resistansi aliran internal, densitas memengaruhi konduktivitas termal volumetrik, titik nyala relevan untuk keselamatan dan efisiensi termal dalam sistem yang bersinggungan dengan pemanasan. Karakteristik etanol yang tidak memenuhi standar bisa menjelaskan fenomena penurunan efisiensi konveksi pada grafik sebelumnya, terutama pada pengadukan 30 rpm, yang seharusnya meningkatkan efisiensi tapi justru menurunkan nilai energi konveksi secara signifikan.

Kata kunci : Densitas, Perpindahan panas, Reaktor, Titik Nyala, Viskositas

1. Pendahuluan

Proses produksi etanol, pemurnian merupakan tahapan penting untuk memisahkan etanol dari cairan hasil fermentasi (*fermentation broth*) alkohol [1]. Proses ini mencakup pemurnian dan dehidrasi guna menghasilkan etanol murni yang dapat digunakan sebagai bahan bakar atau campuran bahan bakar bensin. Etanol yang akan digunakan sebagai bahan bakar harus memiliki tingkat kemurnian yang sangat tinggi (>98%) untuk memastikan performa dan efisiensi mesin tetap optimal. Air dalam etanol dapat mengurangi densitas energi bahan bakar dan berpotensi menyebabkan kerusakan serius pada mesin selama proses pembakaran saat etanol digunakan sebagai bahan bakar [2].

Syamsul dalam penelitiannya ‘Pembuatan Bioetanol dari Kulit Pisang Kepok dengan Cara Fermentasi menggunakan Ragi Roti’ menyampaikan semakin lama waktu fermentasi dan semakin banyak starter yang digunakan maka semakin banyak etanol yang dihasilkan. Pada variasi waktu fermentasi diperoleh waktu terbaik fermentasi yaitu pada waktu 8 hari dengan volume starter 400 ml kadar etanol yang diperoleh yaitu 67% sebanyak 35 ml [3]. Illya juga menyampaikan dari hasil penelitiannya yang berjudul Pengaruh Penambahan Nutrisi Urea Dalam Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Pisang Kepok Dengan Proses Fermentasi yaitu semakin banyak massa nutrisi yang digunakan maka semakin besar yield dan konversi yang dihasilkan. Nilai yield dan konversi tertinggi yang dihasilkan sebesar 16,43% dan 3,38% diperoleh pada massa nutrisi sebesar 0,4% dan waktu fermentasi 4 hari. Sebaiknya dilakukan proses pretreatment secara kimia (delignifikasi) sebelum dilakukan hidrolisis untuk mendegradasi kandungan lignin dengan optimal. Sebaiknya proses fermentasi dilakukan dengan menginkubasi fermentor agar suhu fermentasi tetap terjaga sehingga dapat mendapatkan kadar bioetanol yang tinggi [4]. Mashito mengungkapkan bahwa jumlah bioetanol yang dihasilkan pada kondisi operasi fermentasi menggunakan

jenis ragi tape (*Saccharomyces Cerevisiae*), massa ragi 15 gr sebesar 26,762 % (berat) dan waktu fermentasi 48 jam diperoleh bioetanol sebesar 31,867 % (berat). Dimasa yang akan datang biji durian dapat menjadi salah satu bahan baku alternatif untuk pembuatan bioetanol [5].

Proses distilasi etanol dengan *water jacket* telah banyak diterapkan dalam industri untuk meningkatkan efisiensi proses dan kualitas produk [6]. Analisis termal pada reaktor ini diperlukan untuk memahami distribusi suhu di dalam reaktor dan menentukan bagaimana pengaturan *water jacket* dapat mempengaruhi efisiensi pemanasan serta hasil akhir produk etanol [7][8]. Menurut Nisa bahwasannya semakin besar indeks bias larutan etanol maka semakin besar konsentrasi larutan. Semakin lama waktu distilasi maka konsentrasi overhead product semakin besar. Hal ini berbanding terbalik dengan konsentrasi larutan di bottom product yang semakin kecil dengan bertambahnya waktu distilasi [9].

Optimasi pemurnian etanol dengan distilasi ekstraktif menggunakan chemcad dilakukan oleh suharto, menghasilkan kadar distilat terbaik sebesar 92,4911 %volume tercapai pada kondisi operasi : suhu keluar *preheater* 50°C, nilai refluks rasio 3, dan *bottom temperature* 97°C. Kendala titik *azeotrop* dapat ditangani dengan kolom ekstraktif 13 *tray tipe bubble cap* dengan kadar distilat terbaik sebesar 99,9956%v/v pada kondisi operasi : etilen glikol/dimetil sulfoksida 0,5, solvet/feed 3, dan stage solvent 6 [10]. Sedangkan Retno meneliti Distilasi Azeotrop Campuran Etanol-Air Untuk meningkatkan Kadar Etanol Menggunakan *entrainer etil asetat* yang menghasilkan menunjukkan kadar etanol tertinggi dengan waktu yang paling singkat ialah pada penambahan etil asetat sebagai entrainer sebesar 30% v/v, yang terdiri dari campuran 15 ml etil asetat dan 35 ml etanol 80%. Hasil analisis dengan kromatografi gas memperoleh konsentrasi etanol sebesar 99.80% dan waktu distilasi selama 90 menit [11].

Kecepatan putar pengadukan pada reaktor menjadi salah satu variabel penting yang mempengaruhi efisiensi proses pemurnian [12][13]. Pengadukan yang optimal dapat meningkatkan transfer massa dan panas, memastikan homogenitas campuran, serta mempercepat proses pemisahan zat pengotor [14]. Namun, kecepatan pengadukan yang terlalu rendah dapat menyebabkan proses pemurnian tidak maksimal, sementara kecepatan yang terlalu tinggi dapat menimbulkan pemborosan energi atau bahkan merusak sistem reaktor.

Berdasarkan uraian di atas diperlukan analisis mendalam untuk menentukan pengaruh variasi kecepatan putar pengadukan terhadap kadar etanol yang dihasilkan. Pemahaman ini penting untuk mengoptimalkan proses pemurnian serta meningkatkan kadar etanol hasil pemurnian. Dengan menggunakan reaktor berkapasitas 20 liter dan konsentrasi awal etanol 70%, Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi hubungan antara kecepatan pengadukan dan kadar etanol, sehingga dapat ditentukan parameter pengadukan yang optimal dalam proses pemurnian. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan efisiensi produksi etanol di skala laboratorium maupun industri.

2. Metode

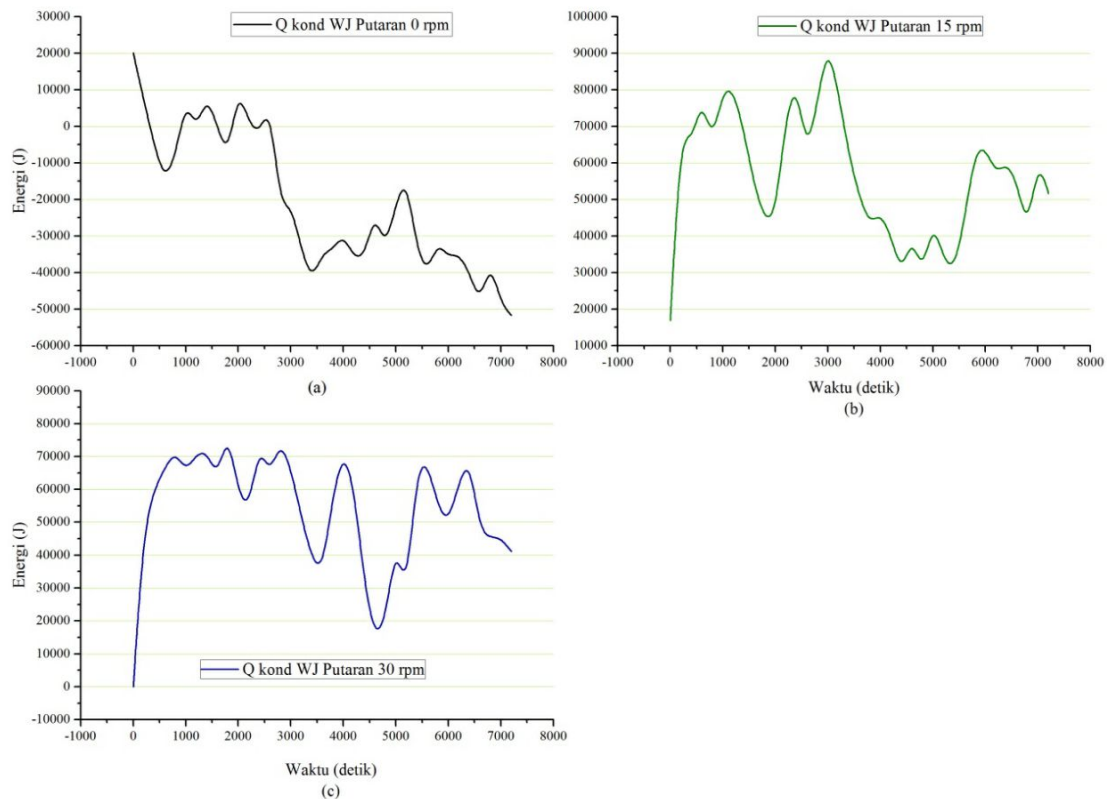
Penelitian ini menggunakan distilasi vakum dengan suhu cairan dalam reaktor sebesar 71 °C, dan bahan uji yang digunakan adalah etanol dengan kadar sebesar 70%. Sebanyak 20 liter diuji selama 2 jam. Data suhu diambil setiap 200 detik, dan data yang diperoleh dari pencatatan data digunakan untuk menganalisis pengaruh putaran pengadukan yang terjadi pada reaktor. Putaran pengadukan sangat terasa pada proses distribusi panas, transfer massa, dan pemisahan zat pengotor di dalam reaktor. Kecepatan yang tidak sesuai, baik terlalu rendah maupun terlalu tinggi, dapat menurunkan efisiensi pemurnian etanol.

Alur pemurnian etanol pada reaktor melibatkan beberapa tahapan penting, dimulai dari memasukkan campuran bahan baku yang mengandung etanol (seperti hasil fermentasi) ke dalam reaktor, pemantauan suhu dapat diterapkan dengan menggunakan sensor suhu yang dipasang di berbagai titik strategis pada reaktor seperti pada dinding *water jacket* bagian luar (T_1), dinding *water jacket* bagian dalam (T_2), fluida air (T_3), dinding tangki reaktor bagian luar (T_4), dinding tangki reaktor bagian dalam (T_5) dan fluida etanol (T_6). Pemanasan dilakukan untuk meningkatkan suhu campuran sesuai dengan titik didih etanol, dan dilakukan pengadukan untuk memastikan distribusi panas yang merata di seluruh cairan dan mencegah terbentuknya lapisan stagnan yang menghambat proses pemisahan.

3. Hasil dan Diskusi

Perpindahan panas konduksi pada dinding *water jacket* dengan tiga variasi kecepatan pengadukan: 0 rpm, 15 rpm, dan 30 rpm. Kondisi 0 rpm merepresentasikan keadaan tanpa pengadukan, di mana perpindahan panas terjadi hanya melalui mekanisme konduksi dan konveksi alami. Sementara itu, variasi

15 dan 30 rpm mencerminkan pengaruh konveksi paksa yang diinduksi oleh pergerakan fluida akibat pengadukan.

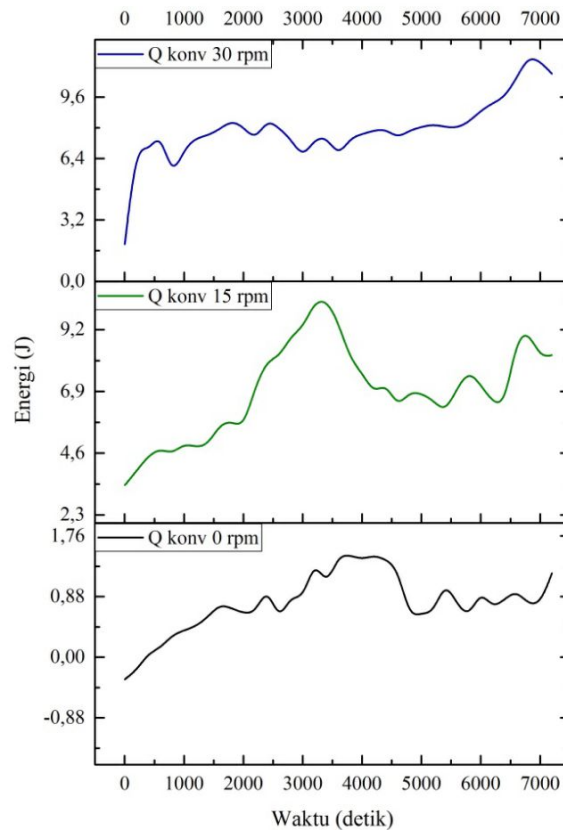


Gambar 1. Grafik Energi Perpindahan Panas Konduksi pada *Water Jacket*

Gambar 1 (a), energi perpindahan panas konduksi menunjukkan tren menurun tajam dari awal hingga akhir waktu percobaan. Nilai energi awalnya tinggi, namun secara bertahap menurun hingga menjadi negatif setelah sekitar 3000 detik, dan terus menurun lebih jauh. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa proses pengadukan, perpindahan panas tidak merata. Akumulasi panas tidak optimal di dalam reaktor, sehingga terjadi pembalikan arah aliran panas, dimana dinding *water jacket* akhirnya kehilangan panas ke lingkungan atau fluida di dalam reaktor [15].

Gambar 1 (b) menunjukkan pola fluktuatif namun dengan energi perpindahan panas konduksi yang secara umum positif dan lebih tinggi dibandingkan 0 rpm. Putaran pengadukan 15 rpm membantu meningkatkan distribusi panas dan mengurangi gradien suhu antara dinding dan fluida. Namun, karena fluktuasi cukup besar, efisiensinya belum stabil kemungkinan karena turbulensi belum cukup kuat untuk mempertahankan aliran termal seragam [16].

Gambar 1 (c) memperlihatkan nilai energi perpindahan panas konduksi yang relatif tinggi dan stabil sepanjang waktu, dengan sedikit fluktuasi. Ini menunjukkan bahwa pengadukan intensif (30 rpm) memberikan efek signifikan dalam memperbaiki perpindahan panas secara konduksi. Panas dari *water jacket* dapat tersalurkan secara efisien ke dinding reaktor, karena suhu fluida di dalam tangki menjadi lebih merata. Tidak ada pembalikan arah energi seperti pada 0 rpm, sehingga efisiensi perpindahan panas tertinggi terjadi pada kondisi ini [11][17].

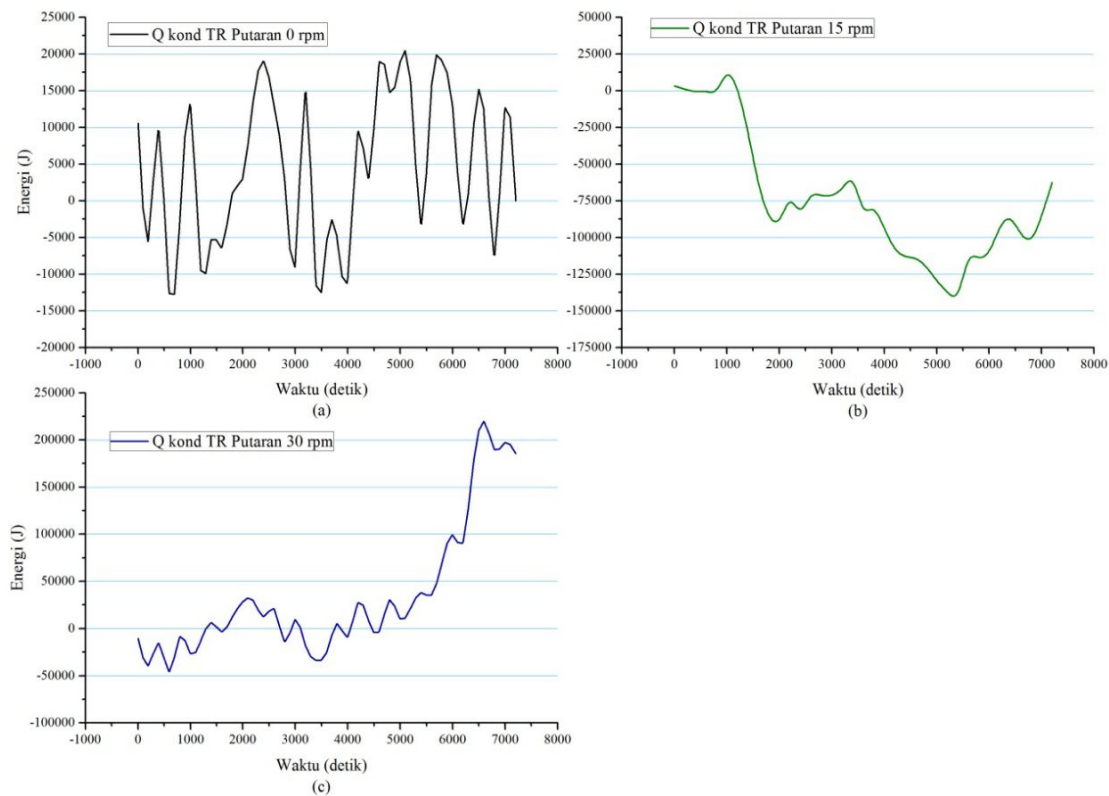


Gambar 2. Grafik Energi Perpindahan Panas Konveksi pada Fluida Air

Energi perpindahan panas konveksi pada putaran pengadukan 0 rpm menunjukkan peningkatan secara perlahan dan nilainya relatif kecil, dengan kisaran maksimum hanya sekitar 1,76 joule. Ini mengindikasikan bahwa pada kondisi tanpa pengadukan, perpindahan panas didominasi oleh konveksi alami yang terjadi akibat perbedaan densitas fluida karena gradien temperatur [18]. Proses ini berlangsung lebih lambat dan kurang efisien.

Dengan adanya pengadukan pada 15 rpm, energi yang ditransfer melalui konveksi meningkat signifikan dibandingkan kondisi tanpa pengadukan. Nilai energi mencapai hampir 9,2 joule, menunjukkan bahwa konveksi paksa mulai berperan aktif [19]. Variasi grafik yang naik-turun menandakan fluktuasi suhu dan aliran fluida akibat pengaruh pengadukan moderat.

Pada kecepatan tertinggi (30 rpm), energi konveksi terus meningkat dan mencapai nilai tertinggi, yaitu sekitar 9,6 joule. Hal ini mencerminkan bahwa semakin tinggi kecepatan pengadukan, maka turbulensi fluida semakin besar, memperkuat mekanisme konveksi paksa. Arus turbulen meningkatkan pencampuran fluida dan memperkecil ketebalan lapisan batas termal, sehingga panas dapat ditransfer lebih cepat dari dinding ke fluida [20].

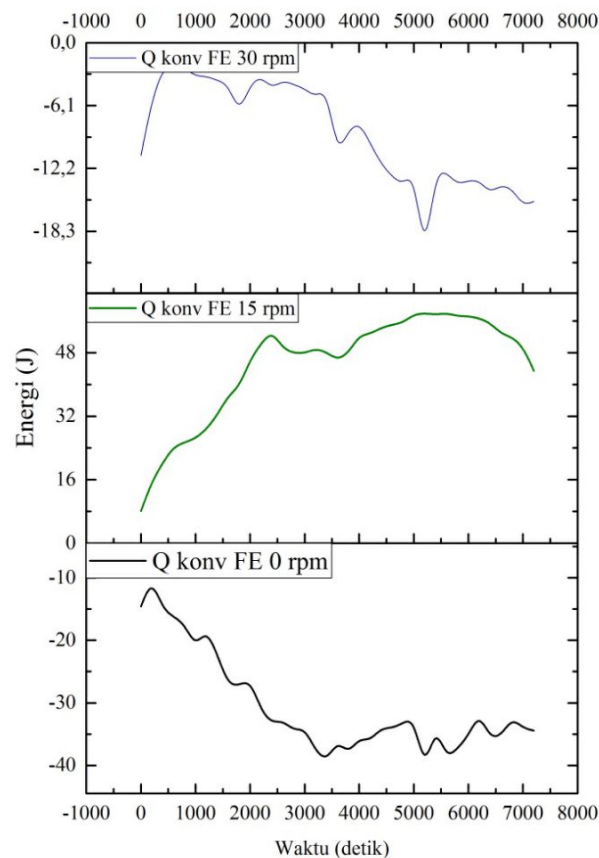


Gambar 3. Grafik Energi Perpindahan Panas Konduksi pada Tangki Reaktor

Gambar 3 (a) menunjukkan fluktuasi yang sangat besar dan acak dengan nilai energi konduksi yang berubah-ubah antara positif dan negatif. Nilai maksimum mendekati +20000 J dan minimum sekitar -20000 J, mencerminkan ketidakstabilan perpindahan panas tanpa pengadukan. Fluktuasi ini dapat disebabkan oleh variasi lokal suhu antara dinding dan fluida, serta minimnya pencampuran yang menyebabkan gradien suhu tidak merata. Tanpa pengadukan, perpindahan panas bergantung hanya pada konduksi dan konveksi alami, yang cenderung tidak stabil dalam sistem tertutup atau semi-terbuka [21].

Gambar 3 (b) menunjukkan tren menurun tajam pada awal percobaan, kemudian relatif stabil pada kisaran energi negatif hingga akhir waktu pengamatan. Energi konduksi turun hingga sekitar -125000 J, menunjukkan bahwa aliran panas bersih (net transfer) dari dinding ke fluida berlangsung konsisten, tetapi dalam arah negatif (kemungkinan mendefinisikan arah aliran dari fluida ke dinding tergantung sistem tanda yang digunakan). Pengadukan sedang (15 rpm) tampaknya menghasilkan gradien suhu yang lebih stabil, meskipun transfer energi belum menunjukkan peningkatan signifikan. Nilai negatif yang dominan bisa mengindikasikan bahwa dinding menerima panas dari fluida, atau sistem pengukuran memiliki orientasi tanda yang demikian.

Gambar 3 (c) menunjukkan tren meningkat yang cukup signifikan seiring waktu, dengan nilai energi mencapai lebih dari +250000 J pada akhir periode pengamatan. Ini menunjukkan perpindahan panas konduksi berlangsung secara lebih efektif, kemungkinan besar karena efek pengadukan tinggi menyebabkan distribusi suhu yang lebih merata pada fluida dan meningkatkan perbedaan suhu antara dinding dan fluida secara lebih konsisten. Pengadukan tinggi (30 rpm) mempercepat pencampuran, menipiskan lapisan batas termal, dan memungkinkan gradien suhu yang tajam di dekat dinding, sehingga meningkatkan laju konduksi panas.



Gambar 4. Grafik Energi Perpindahan Panas Konveksi pada Fluida Etanol

Gambar 4 menunjukkan bagaimana energi yang ditransfer secara konveksi dalam fluida etanol berubah terhadap waktu selama pengujian dengan tiga kondisi kecepatan pengadukan. Perbedaan karakteristik termofisika etanol dibanding air seperti viskositas lebih rendah dan kapasitas panas jenis yang berbeda mempengaruhi mekanisme perpindahan panas secara konveksi.

Energi perpindahan panas konveksi pada putaran pengadukan 0 rpm (tanpa pengadukan) menunjukkan tren menurun secara konsisten dari awal hingga akhir, dengan nilai energi mencapai sekitar -40 J pada 7000 detik. Nilai negatif mengindikasikan bahwa perpindahan panas secara bersih berlangsung dari fluida ke dinding, atau terdapat pendinginan pada fluida. Tanpa pengadukan, perpindahan panas hanya bergantung pada konveksi alami, yang lemah pada fluida dengan viskositas rendah seperti etanol, sehingga prosesnya cenderung lambat dan menghasilkan energi konveksi negatif yang terus menurun.

Kecepatan 15 rpm, terjadi peningkatan energi konveksi secara signifikan, dengan nilai maksimum mencapai sekitar 48 J. Ini menunjukkan bahwa konveksi paksa akibat pengadukan moderat meningkatkan efisiensi perpindahan panas. Grafik menunjukkan kurva menaik tajam hingga sekitar 4000 detik, lalu cenderung stabil dan mulai menurun pada akhir waktu, yang bisa menunjukkan pencapaian kondisi termal mendekati kesetimbangan atau menurunnya gradien suhu [22].

Kecepatan tertinggi (30 rpm), grafik menunjukkan penurunan energi konveksi hingga mencapai sekitar -18,3 J. Hal ini bisa terjadi karena turbulensi berlebihan pada etanol menyebabkan pencampuran terlalu cepat sehingga mengurangi gradien suhu yang diperlukan untuk perpindahan panas. Kemungkinan lain adalah bahwa aliran menjadi terlalu chaotic (tidak laminar maupun turbulent yang teratur), sehingga distribusi suhu homogen, mengurangi perbedaan suhu lokal yang diperlukan untuk perpindahan panas efektif.

4. Kesimpulan

Efektivitas pengadukan tergantung pada sifat fluida. Etanol memiliki karakteristik yang menyebabkan konveksi paksa paling optimal terjadi pada kecepatan pengadukan menengah (15 rpm). Pengadukan terlalu lambat (0 rpm) menghasilkan perpindahan panas yang buruk karena bergantung pada konveksi alami yang lemah. Pengadukan terlalu cepat (30 rpm) justru bisa menurunkan efisiensi konveksi karena gradien suhu menjadi terlalu kecil akibat pencampuran cepat. Temuan ini sejalan dengan prinsip bahwa perpindahan panas optimal terjadi saat ada keseimbangan antara gradien suhu dan kecepatan fluida yang tidak terlalu turbulen.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ibu Dosen Pembimbing yang telah berkontribusi dan mendukung sepanjang perjalanan menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] T. Setiawan, "Rancang bangun alat destilasi uap bioetanol dengan bahan baku batang pisang," *J. Media Teknol.*, vol. 04, no. 02, pp. 119–128, 2018.
- [2] D. Wahyudi, Y. Hendrawan, and N. Hamidi, "Bernoulli Distillation System (BDS) for Bioethanol Sorghum Stalk Purification," *Pertanika J. Sci. Technol.*, vol. 32, no. 6, pp. 2421–2440, 2024.
- [3] S. Bahri, A. Aji, and F. Yani, "Jurnal Teknologi Kimia Unimal Pembuatan Bioetanol dari Kulit Pisang Kepok dengan Cara Fermentasi menggunakan Ragi Roti," *Teknol. Kim.*, vol. 2, no. November, pp. 85–100, 2018.
- [4] I. N. Gafiera, F. P. Swetachattra, and J. T. Kimia, "PENGARUH PENAMBAHAN NUTRISI UREA DALAM DENGAN PROSES FERMENTASI," *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 5, no. 9, pp. 195–199, 2019.
- [5] M. M. Maharani, M. Bakrie, and Nurlela, "Pengaruh jenis ragi, massa ragi dan waktu fermentasi pada pembuatan bioetanol dari limbah biji durian," *J. Redoks*, vol. 6, pp. 57–65, 2021.
- [6] M. Gholinia, M. Pourfallah, and H. R. Chamani, "Numerical investigation of heat transfers in the water jacket of heavy duty diesel engine by considering boiling phenomenon," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 12, no. June, pp. 497–509, 2018, doi: 10.1016/j.csite.2018.07.003.
- [7] H. S. Lim, N. il Tak, S. N. Lee, and C. K. Jo, "Water-jacket reactor cavity cooling system concept to mitigate severe accident consequence of high temperature gas-cooled reactor," *Nucl. Eng. Des.*, vol. 340, no. October, pp. 156–165, 2018, doi: 10.1016/j.nucengdes.2018.09.029.
- [8] D. Wahyudi, Y. Hendrawan, and N. Hamidi, "Performance of low cost sensor temperature logger in double jacket reactor vacuum distillation," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 33, no. 3, pp. 1424–1435, 2024, doi: 10.11591/ijeecs.v33.i3.pp1424-1435.
- [9] N. I. F. Nisa and A. Aminudin, "Pengaruh Waktu Distilasi Etanol-Air Terhadap Konsentrasi Overhead Product dan Bottom Product," *CHEESA Chem. Eng. Res. Artic.*, vol. 2, no. 1, p. 19, 2019, doi: 10.25273/cheesa.v2i1.4469.
- [10] M. Suharto, A. A. Wibowo, and P. H. Suharti, "Optimasi Pemurnian Etanol Dengan Distilasi Ekstraktif Menggunakan Chemcad," *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 6, no. 1, pp. 1–7, 2020, doi: 10.33795/distilat.v6i1.53.
- [11] R. Indarti, R. Manfaati, and A. Marlina, "DISTILASI AZEOTROP CAMPURAN ETANOL-AIR UNTUK MENINGKATKAN KADAR ETANOL MENGGUNAKAN ENTRAINER ETIL ASETAT," *Fluida*, vol. 14, no. 01, pp. 24–28, 2021.
- [12] R. Andwika Simatupang, dan Mahrizal, M. Jurusan Fisika FMIPA UNP, and S. Pengajar Jurusan Fisika FMIPA UNP, "Optimasi Kecepatan Putar Pengadukan Dan Waktu Pengadukan Terhadap Kualitas Fisika Biodiesel Dari Minyak Kelapa," *PillarPhys.*, vol. 7, no. April, pp. 89–96, 2016.
- [13] D. Wahyudi, D. H. T. Prasetyo, M. F. Noor, D. Irawan, and A. Darmanto, "PURIFICATION AND CHARACTERISTICS OF WASTE LUBRICATING OIL AS DIESEL-LIKE FUEL," *J. Mech. Eng.*, vol. 75, no. 1, pp. 17–26, 2025, doi: 10.2478/scjme-2025-0003.
- [14] M. I. Hutasuht, "Analisis Perpindahan Kalor Kondensor Pada Proses Distilasi Bioetanol Sebagai Biofuel Dari Campuran Limbah Buah Salak Dengan Limbah Air Kelapa," *J. Mech. Eng. Manuf. Mater. Energy*, vol. 2, no. 2, p. 43, 2018, doi: 10.31289/jmemme.v2i2.2006.

- [15] A. A. W. Moch Farhein Ferdinal, "Studi Optimasi Pressure Swing Distillation Pada Pemurnian Etanol Menggunakan Chemcad," *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 7, no. 2, pp. 255–263, 2021, doi: 10.33795/distilat.v7i2.217.
- [16] Y. Klistafani, "Studi Numerik Steady RANS Aliran Fluida di Dalam Asymmetric Diffuser," *J. INTEK*, vol. 4, no. April, pp. 20–26, 2017.
- [17] I. Rosyadi, A. Sudrajad, D. Satria, Y. Yusuf, and K. Tri, "Pneumatik Dengan Menggunakan Simulasi Cfd," *J. Tek. Mesin UNTIRTA*, vol. III, no. 2, pp. 48–52, 2017.
- [18] S. Uharek *et al.*, "Water jacket systems for temperature control of petri dish cell culture chambers," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 4, 2019, doi: 10.3390/app9040621.
- [19] Z. Avista, Z. Arifin, and I. Yaningsih, "Perpindahan panas secara konveksi pada magnetorheological fluid : Review," vol. 16, no. 1, pp. 1–12, 2021.
- [20] A. L. Pillai, J. Nagao, R. Awane, and R. Kurose, "Influences of liquid fuel atomization and flow rate fluctuations on spray combustion instabilities in a backward-facing step combustor," *Combust. Flame*, vol. 220, pp. 337–356, 2020, doi: 10.1016/j.combustflame.2020.06.031.
- [21] H. Riupassa and W. G. Allo, "Analisis Konveksi Alami dan Paksa dengan Variasi Material," *J. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 1, pp. 39–48, 2019, [Online]. Available: <http://ojs.ustj.ac.id/mesin/article/view/428>.
- [22] I. Supu, B. Usman, S. Basri, and Sunarmi, "PENGARUH SUHU TERHADAP PERPINDAHAN PANAS PADA MATERIAL YANG BERBEDA," *Dinamika*, vol. 07, no. 1, pp. 62–73, 2016.