

Analisa *Methanol Content* pada *Palm Methyl Ester* (PME) di Kolom Destilasi

Jessica Anjelia Putri Rumahorbo¹, Enny Nurmalasari^{1*}, Hasnah Ulia¹, Okti Ulandari², Puji Rahayu³

¹Program Studi Teknik Kimia Bahan Nabati, Politeknik ATI Padang, Padang

²Program Studi Teknologi Rekayasa Bioproses Energi Terbarukan, Politeknik ATI Padang, Padang

³Pogram Studi Teknologi Proses Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten

* Corresponding author, email: ennynurmalasari@poltekatiptdg.ac.id

Abstrak. Biodiesel merupakan bahan bakar terbarukan yang dihasilkan dari minyak nabati atau lemak hewani melalui proses transesterifikasi, di mana trigliserida bereaksi dengan metanol dan bantuan katalis membentuk *Palm Methyl Ester* (PME). Setelah reaksi transesterifikasi, *Palm Methyl Ester* masih mengandung pengotor seperti sisa metanol, gliserol, sabun, air, dan katalis. Salah satu parameter mutu yang perlu diperhatikan adalah kandungan metanol (*methanol content*) dalam *Palm Methyl Ester*. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh temperatur dan tekanan *top* kolom destilasi terhadap *methanol content* pada PME serta menentukan kondisi operasi yang paling efektif. Kondisi operasi temperatur dan tekanan *Top* dibuat dengan kondisi yang bervariasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur dan penurunan tekanan *top* cenderung meningkatkan efisiensi pemisahan metanol. Kondisi optimal diperoleh pada temperatur 156,8 °C dan tekanan *top* 284 mbarA, dengan efisiensi pemisahan 98,78% dan *methanol content* 0,13%, sehingga memenuhi spesifikasi maksimum perusahaan sebesar 0,20%.

Kata kunci: destilasi vakum, *methanol content*, *Palm Methyl Ester*, temperatur, tekanan *top*, efisiensi pemisahan

Pendahuluan

Palm Methyl Ester (PME) sebagai produk biodiesel harus memenuhi standar mutu telah ditetapkan, terutama terkait kandungan metanol sisa yang berpengaruh terhadap keselamatan penyimpanan, titik nyala, dan kualitas akhir produk. Pada proses pemurnian PME, kolom destilasi vakum berperan penting dalam memisahkan metanol berdasarkan perbedaan volatilitas, sehingga pengendalian temperatur dan tekanan *top* menjadi parameter operasi yang sangat menentukan efisiensi pemisahan. Beberapa penelitian pada pemurnian biodiesel umumnya menunjukkan bahwa metode destilasi vakum merupakan pendekatan yang paling relevan untuk menurunkan komponen volatil seperti metanol karena mampu bekerja pada temperatur lebih rendah dibanding destilasi atmosfer, sehingga lebih aman bagi produk yang sensitif panas (Stojković et al., 2014). Perubahan tekanan operasi memengaruhi kecenderungan metanol untuk berpindah dari fase cair ke fase uap, sehingga berdampak terhadap efektivitas pemisahan dan kandungan metanol pada produk (Wang et al., 2011). Temperatur *top* merupakan parameter penting dalam proses pemisahan karena menentukan

kondisi kesetimbangan uap-cair dan memengaruhi volatilitas relatif komponen, termasuk metanol terhadap komponen FAME/PME (Shimoyama et al., 2007).

Penelitian Shimoyama et al. melakukan pengukuran kesetimbangan uap-cair (VLE) pada sistem biner metanol–fatty acid methyl ester (FAME) pada rentang temperatur 493–543 K (220–270°C). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa fraksi mol metanol pada fase uap berada mendekati satu, sedangkan FAME lebih dominan berada pada fase cair. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan temperatur memberikan kondisi yang semakin mendukung perpindahan metanol dari fase cair menuju fase uap (Shimoyama et al., 2007). (Burmana et al., 2025) menyatakan bahwa pada operasi normal kolom bekerja sekitar 115°C di bottom dan 74°C di top, dengan tekanan 0,75 bar di bottom dan 0,45 bar di top, menghasilkan kemurnian metanol sekitar 99,2–99,5%. Ketika terjadi gangguan operasi, temperatur, tekanan, dan kemurnian metanol berubah secara signifikan. VLE pada tekanan 6,7–66,7 kPa menunjukkan adanya hubungan antara tekanan, temperatur, dan komposisi kesetimbangan. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan dan temperatur memengaruhi penguapan komponen volatil, sehingga tekanan dan temperatur top penting dianalisis untuk menentukan efektivitas pemisahan metanol pada proses distilasi vakum PME (Veneral et al., 2013).

Berdasarkan hasil kajian tersebut maka pada penelitian ini dilakukan analisa pengaruh temperatur dan tekanan *top* kolom distilasi terhadap *methanol content* pada PME, serta menentukan kondisi operasi yang paling efektif mendukung stabilitas proses, peningkatan mutu produk, dan efisiensi pemisahan metanol.

Metodologi

Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan dalam analisis kadar *methanol content* adalah sebagai berikut:

Gas Chromatography 8890 System digunakan untuk menganalisis dan menentukan kandungan metanol dalam sampel PME, *syringe* 10 mL digunakan untuk mengambil atau memindahkan sampel sesuai kebutuhan preparasi analisis, Botol vial bening digunakan sebagai wadah penyimpanan sampel PME, Neraca analitik digunakan untuk menimbang sampel PME, *Crimper* digunakan untuk menutup dan membuka botol vial. Kemudian bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Sampel *input* PM, Sampel *output* PME, Metanol standar kemurnian 99,5% yang digunakan sebagai larutan standar pada analisis kadar *methanol content* menggunakan Gas Chromatography (GC).

Prosedur Kerja Analisis *Methanol Content* (MC)

Sampel input dan output PME diambil dari titik sampling yang telah ditentukan sesuai kondisi operasi kolom distilasi, kemudian dimasukkan ke dalam vial yang bersih dan kering serta ditutup rapat menggunakan crimper untuk mencegah penguapan metanol. Sebanyak 5 gram sampel PME ditimbang

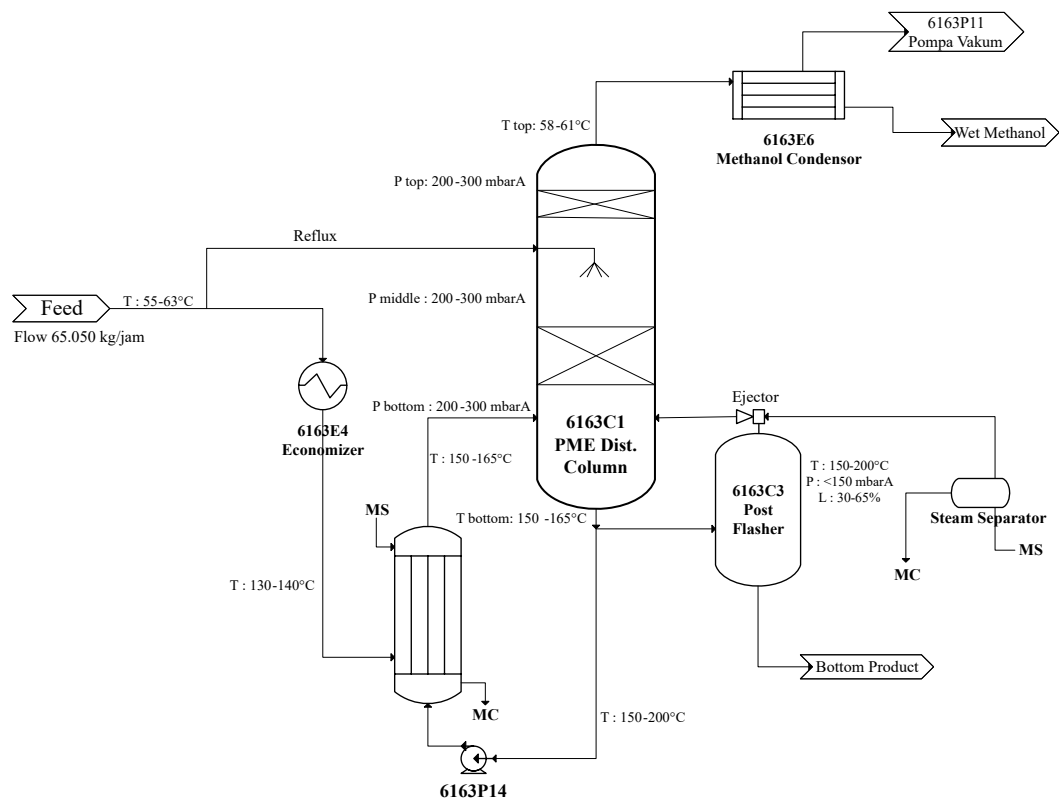
menggunakan neraca analitik dan ditempatkan dalam vial, kemudian vial dimasukkan ke dalam autosampler Gas Chromatography (GC) 8890 System. Analisis dilakukan menggunakan metode GC yang telah dikalibrasi dengan metanol standar berkadar 99,5%. Kromatogram yang diperoleh dianalisis berdasarkan waktu retensi metanol, sedangkan luas area puncak digunakan untuk menentukan kadar metanol berdasarkan kurva kalibrasi standar. Analisis dilakukan secara duplo, kemudian hasil pengukuran dirata-ratakan untuk memperoleh nilai *methanol content*. Selanjutnya, nilai *methanol content* pada sampel input dan output digunakan untuk menghitung efisiensi pemisahan metanol. Efisiensi Pemisahan mengikuti persamaan 1:

$$\text{Efisiensi Pemisahan} = \frac{\text{MC input} - \text{MC output}}{\text{MC input}} \times 100\% \quad \text{Per. 1}$$

dengan:

MC input= *methanol content* pada umpan (%)

MC output= *methanol content* pada produk (%)



Gambar 1. Skema kolom distilasi sebagai ilustrasi proses pemisahan metanol

Hasil dibandingkan dengan teori distilasi vakum, kesetimbangan uap dan cair (*vapor-liquid equilibrium*), serta tekanan uap jenuh metanol, kegiatan ini dilakukan untuk mendukung penjelasan mengenai pengaruh temperatur terhadap kecenderungan penguapan metanol, dilakukan perhitungan tekanan uap jenuh dengan menggunakan Persamaan Antoine berdasarkan persamaan 2.

$$\ln(P_{\text{sat}}) = A - \frac{B}{T+C} \quad \text{Per. 2}$$

Keterangan :

P_{sat} = tekanan uap jenuh (kPa)

T = temperatur operasi (°C)

A, B, dan C = Konstanta Antoine untuk metanol

Hasil dan Pembahasan

a. Pengaruh Temperatur terhadap Efisiensi Pemisahan Metanol

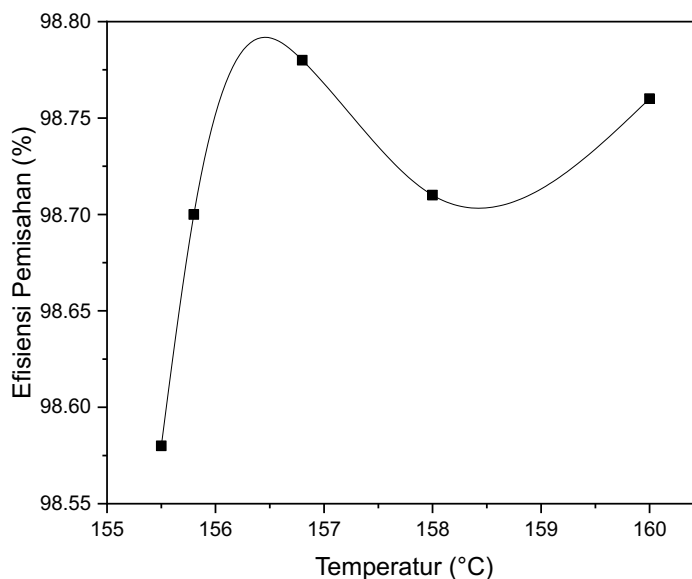
Suhu merupakan salah satu parameter operasi yang paling menentukan keberhasilan pemisahan metanol pada kolom distilasi karena berfungsi sebagai sumber energi untuk menguapkan komponen yang lebih volatil. Pada proses pemurnian palm methyl ester (PME), metanol memiliki titik didih yang jauh lebih rendah dibandingkan metil ester, sehingga peningkatan suhu reboiler akan meningkatkan jumlah metanol yang berubah menjadi fase uap. Dalam kondisi vakum, kebutuhan suhu menjadi lebih rendah karena penurunan tekanan turut menurunkan titik didih metanol (Wan Osman et al., 2024).

Dalam penelitian ini diperoleh lima data pengamatan yang dilakukan secara duplo meliputi temperatur kolom, tekanan *top* kolom, *methanol content input*, *methanol content output*, dan efisiensi pemisahan metanol. Data tersebut digunakan untuk menilai pengaruh kondisi operasi kolom distilasi terhadap kinerja pemisahan metanol, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Operasional Kolom Distilasi dan Hasil Pemisahan Metanol

No	Temperatur (°C)	Tekanan <i>Top</i> (mbarA)	<i>Input MC (%)</i>	<i>Output MC(%)</i>
1	155,5	287,7	13,34	0,19±0.0095
2	155,8	285	13,11	0,17±0.0085
3	156,8	284	10,66	0,13±0.0065
4	158	264	10,11	0,13±0.0065
5	160	265	12,89	0,16±0.008

Tabel 1 menjelaskan bahwa kondisi operasi kolom menunjukkan temperatur sebesar 155,5–160°C dan tekanan *top* sebesar 264–287,7 mbarA. Pada kondisi tersebut, input mengalami variasi antara 10,11–13,34%, sedangkan output berada pada rentang 0,13–0,19%. Perbedaan yang cukup besar antara konsentrasi input dan output menunjukkan bahwa proses distilasi mampu mengurangi kandungan komponen volatil secara signifikan. Efisiensi proses pemisahan pada kolom distilasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Temperatur terhadap %Efisiensi Pemisahan Metanol

Gambar 2 menjelaskan pengaruh temperatur terhadap %efisiensi pemisahan metanol. Berdasarkan Gambar 2, kenaikan suhu dari 155,5°C menjadi 156,8°C meningkatkan efisiensi pemisahan dari 98,58% menjadi 98,78%. Pada saat yang sama, kadar metanol produk bawah (output) menurun dari 0,19% menjadi 0,13%, menunjukkan bahwa semakin banyak metanol yang berhasil dipisahkan sebagai distilat. Peningkatan efisiensi ini terjadi karena energi panas yang lebih besar meningkatkan tekanan uap metanol sehingga volatilitas relatif metanol terhadap PME menjadi lebih tinggi. Akibatnya, perpindahan massa antara fase cair dan uap berlangsung lebih efektif dan metanol lebih mudah mencapai bagian atas kolom. Namun ketika suhu dinaikkan lebih lanjut menjadi 158–160°C. Efisiensi pemisahan tidak meningkat secara signifikan dan hanya berada pada kisaran 98,71–98,76%. Hal ini mengindikasikan bahwa kolom telah mencapai kondisi mendekati kesetimbangan uap–cair, sehingga tambahan energi panas tidak lagi menghasilkan peningkatan pemisahan yang nyata. Hasil tersebut sama seperti yang dilakukan oleh (Choudhary et al., 2025) yang menunjukkan bahwa peningkatan temperatur hingga kondisi optimum mampu meningkatkan jumlah metanol yang berhasil direcovery secara signifikan, sedangkan temperatur yang terlalu tinggi tidak lagi memberikan peningkatan recovery yang berarti.

Secara termodinamika, peningkatan temperatur akan meningkatkan tekanan uap metanol sehingga gaya pendorong (*driving force*) perpindahan massa dari fase cair ke fase uap menjadi lebih besar dan pemisahan berlangsung lebih efektif. Namun, ketika sebagian besar metanol telah teruapkan, perbedaan komposisi antara fase cair dan uap semakin kecil sehingga *driving force* menurun dan peningkatan efisiensi mulai melambat. Di sisi lain, temperatur yang lebih tinggi juga menghasilkan beban uap (*vapor load*) yang lebih besar, sehingga waktu kontak antara uap dan cairan pada tray atau packing berkurang dan efisiensi perpindahan massa dapat sedikit menurun. Selain itu, pada suhu yang semakin tinggi sebagian komponen metil ester yang memiliki titik didih lebih tinggi mulai ikut menguap

dalam jumlah kecil, sehingga selektivitas pemisahan metanol berkurang (Yang et al., 2003).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa 156,8°C merupakan suhu operasi yang paling efektif pada rentang kondisi yang diamati, dengan efisiensi pemisahan 98,78% dan kadar metanol output 0,13%. Kenaikan suhu di atas nilai tersebut tidak memberikan peningkatan efisiensi yang berarti, sehingga pengoperasian kolom pada suhu optimum lebih menguntungkan karena mampu menghasilkan pemisahan metanol yang tinggi sekaligus menghindari konsumsi energi yang berlebihan.

b. Pengaruh Tekanan Top terhadap Efisiensi Pemisahan Metanol

Analisis tekanan uap jenuh metanol dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap kecenderungan penguapan metanol serta membandingkannya dengan tekanan top aktual kolom. Perhitungan dilakukan menggunakan Persamaan Antoine, kemudian hasilnya dikaitkan dengan efisiensi pemisahan metanol. Hasil perhitungan tekanan uap jenuh metanol pada masing-masing kondisi operasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Tekanan Uap Jenuh Metanol berdasarkan Persamaan Antoine

No	Temperatur (°C)	Tekanan Top (mbarA)	Psat (kPa)	Efisiensi Pemisahan (%)
1	155,5	287,7	1583,97	98,58
2	155,8	285	1595,08	98,70
3	156,8	284	1632,56	98,78
4	158	264	1678,44	98,71
5	160	265	1757,14	98,76

Tabel 2 menjelaskan perhitungan tekanan uap jenuh metanol berdasarkan persamaan Antoine. Hasil tersebut menjelaskan temperatur meningkat dari 155,5°C menjadi 160°C, sedangkan tekanan uap jenuh metanol (Psat) meningkat dari 1.583,97 kPa menjadi 1.757,14 kPa. Kondisi tersebut menghasilkan rasio Psat/Ptop sebesar 55,06–66,31, yang menunjukkan kecenderungan penguapan metanol yang tinggi. Namun, peningkatan rasio Psat/Ptop tidak selalu diikuti peningkatan efisiensi karena efisiensi juga dipengaruhi oleh kondisi operasi aktual kolom. Peningkatan Psat sebesar sekitar 173,17 kPa menunjukkan bahwa kenaikan temperatur meningkatkan kecenderungan molekul metanol untuk berpindah dari fase cair ke fase uap. Hasil tersebut sesuai dengan prinsip tekanan uap, yaitu semakin tinggi temperatur suatu cairan, semakin besar energi kinetik molekul dan semakin banyak molekul yang mampu meninggalkan permukaan cairan (Stahn et al., 2022).

Sebaliknya, tekanan aktual top mengalami penurunan dari 287,7 mbarA (28,77 kPa) pada 155,5°C menjadi 265 mbarA (26,5 kPa) pada 160°C. Dengan demikian, kondisi operasi aktual berada jauh di bawah tekanan uap jenuh metanol pada temperatur tersebut. Perbandingan Psat dengan tekanan top menunjukkan bahwa pada 155,5°C nilai Psat sekitar 55 kali tekanan top, sedangkan pada 160°C

meningkat menjadi sekitar 66 kali. Kondisi ini menunjukkan adanya driving force yang besar bagi metanol untuk berada pada fase uap (Shimoyama et al., 2007). Pada rentang temperatur 240–300°C dan tekanan reaksi 9–15 MPa, tekanan flashing memberikan pengaruh signifikan terhadap *methanol recovery* dan kandungan metanol pada fase gas. Penurunan tekanan flashing dapat meningkatkan pemulihan metanol dan konsentrasi metanol pada fase gas. Pada kondisi 300°C, 15 MPa, dan tekanan flashing 0,4 MPa, diperoleh *methanol recovery* >85% dan konsentrasi metanol pada fase gas mendekati 99%. Hal tersebut menunjukkan bahwa efisiensi pemisahan tidak hanya ditentukan oleh tekanan uap jenuh metanol, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi aktual operasi kolom, seperti komposisi umpan, laju alir, kontak uap-cair, waktu tinggal, serta kondisi hidrodinamika kolom.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, operasi kolom distilasi pada temperatur 155,5–160°C dan tekanan top 264–287,7 mbarA menghasilkan efisiensi pemisahan metanol sebesar 98,58–98,78% dengan *methanol content* output sebesar 0,13–0,19%. Peningkatan temperatur menyebabkan peningkatan tekanan uap jenuh metanol dari 1.583,97 menjadi 1.757,14 kPa, sehingga meningkatkan kecenderungan metanol berpindah dari fase cair ke fase uap. Namun, peningkatan P_{sat} dan penurunan tekanan top tidak selalu menghasilkan peningkatan efisiensi secara linier karena kinerja pemisahan juga dipengaruhi oleh kondisi operasi aktual kolom. Berdasarkan data pengamatan, kondisi 156,8°C dan 284 mbarA menghasilkan efisiensi pemisahan tertinggi sebesar 98,78% dengan *methanol content* output sebesar 0,13%, sehingga kondisi tersebut merupakan kondisi operasi terbaik dalam rentang pengamatan penelitian.

Daftar Pustaka

- Burmana, A. D., Benguerba, Y., Wicaksana, F., Alexander, V., Nova, S., Taslim, T., & Iriany, I. (2025). *Improving efficiency and product quality by optimizing methanol purification in biodiesel plant: Addressing abnormalities in distillation column performance*. International Journal of Thermofluids, 25 pp. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.101019>
- Choudhary, S. K., Bhattacharya, T. K., & Shambhu, V. B. (2025). *Development of a Predictive Model Using Response Surface Methodology for the Parametric Standardisation of Methanol Recovery from Transesterified Oil*. New Horizons of Science, Technology and Culture, 6 pp. 439-450. <https://doi.org/10.9734/bpi/nhstc/v6/6584>
- Shimoyama, Y., Iwai, Y., Jin, B. S., Hirayama, T., & Arai, Y. (2007). *Measurement and correlation of vapor-liquid equilibria for methanol + methyl laurate and methanol + methyl myristate systems near critical temperature of methanol*. Fluid Phase Equilibria, 257(2) pp. 217-222. <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2007.01.034>

- Stahn, M., Grimme, S., Salthammer, T., Hohm, U., & Palm, W. U. (2022). *Quantum chemical calculation of the vapor pressure of volatile and semi volatile organic compounds*. Environmental Science: Processes and Impacts, 24(11) pp. 2153-2166 . <https://doi.org/10.1039/d2em00271j>
- Stojković, I. J., Stamenković, O. S., Povrenović, D. S., & Veljković, V. B. (2014). *Purification technologies for crude biodiesel obtained by alkali-catalyzed transesterification*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 32 pp. 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.005>
- Venerai, J. G., Benazzi, T., Mazutti, M. A., Voll, F. A. P., Cardozo-Filho, L., Corazza, M. L., Guirardello, R., & Vladimir Oliveira, J. (2013). *Thermophysical properties of biodiesel and related systems. Part I. Vapour-liquid equilibrium at low pressures of binary and ternary systems involving methanol, ethanol, glycerol, water and NaCl*. Journal of Chemical Thermodynamics, 58 pp. 398-404. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2012.09.032>
- Wan Osman, W. N. A., Rosli, M. H., Mazli, W. N. A., & Samsuri, S. (2024). *Comparative review of biodiesel production and purification*. Carbon Capture Science and Technology, 13 pp. 1-32. <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2024.100264>
- Wang, C., Chen, W., Wang, W., Wu, Y., Chi, R., & Tang, Z. (2011). *Experimental study on methanol recovery through flashing vaporation in continuous production of biodiesel via supercritical methanol*. Energy Conversion and Management, 52(2) pp. 1454-1458. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.10.008>
- Yang, N. S., Chuang, K. T., Afacan, A., Resetarits, M. R., & Binkley, M. J. (2003). *Improving the Efficiency and Capacity of Methanol-Water Distillation Trays*. Industrial and Engineering Chemistry Research, 42(25) pp. 6601-6606. <https://doi.org/10.1021/ie030407n>