

REKAYASA PROSES DISTILASI EKSTRAKTIF PADA PEMBUATAN PELARUT BERBASIS HIDROKARBON DENGAN MENGGUNAKAN *ENTRAINER* SULFOLANA

Haniif Prasetiawan*, Ratna Dewi Kusumaningtyas, Bayu Triwibowo, Dhoni Hartanto, Muhammad Fikkri Al Ghifari, Syifa Karimah¹

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
Kampus Sekaran, Gunungpati, Sekaran, Semarang 50229, Indonesia

*Email: haniif.prasetiawan@mail.unnes.ac.id

Abstrak

Pelarut atau *solvent* merupakan salah satu komponen penting dalam proses kimia pada industri kimia. Salah satu jenis pelarut yang sering digunakan pada industri cat dan pelapis yaitu pelarut berbasis hidrokarbon yang terdiri dari campuran cairan kompleks yang beragam dan mengandung unsur alifatik, alisiklik dan aromatik (C5-C8). Aromatik hidrokarbon merupakan polutan lingkungan yang terkenal bersifat toksik, karsinogenik dan mutagenik sehingga dibutuhkan pelarut berbasis hidrokarbon dengan kandungan aromatik dibawah 1%. Metode pemisahan yang tepat untuk memisahkan komponen aromatik dan nonaromatik yang memiliki titik didih berdekatan adalah distilasi ekstraktif dengan *entrainer* sulfolana. Pada penelitian ini, sistem distilasi dengan *entrainer* sulfolana dijalankan menggunakan *process simulation software Aspen Plus V.10* dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah sulfolana, *feed stage* dan jumlah stage terhadap sifat fisis pelarut berbasis hidrokarbon serta analisis energi dan ekonominya. Simulasi ini difokuskan pada variasi rasio sulfolana:crude feed (7:1, 7,5:1, 8:1, 8,5:1), variasi *feed stage* (stage ke-10 sampai ke-35) dan variasi jumlah stage (70,75,80). Hasil penelitian didapatkan kondisi optimum yaitu menggunakan rasio sulfolana:crude feed 8,5:1, *feed stage* ke-25 dan jumlah stage 80.

Kata kunci: aromatik, aspen plus, distilasi ekstraktif, hidrokarbon, pelarut, sulfolana.

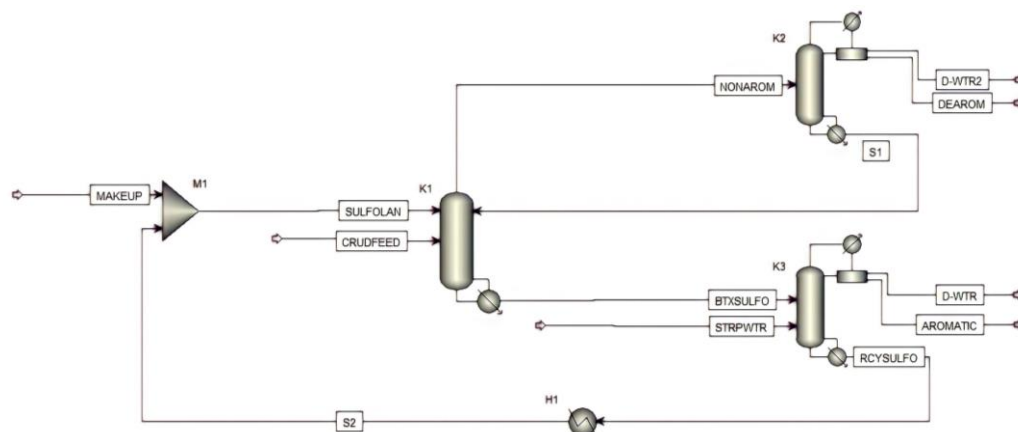
1. PENDAHULUAN

Pelarut atau *solvent* merupakan salah satu komponen penting dalam proses kimia pada industri kimia dan industri farmasi yang dapat mempengaruhi kinetika dan termodinamika reaksi serta dapat mengubah selektivitas produk (Varghese dan Mushrif, 2019). Kegunaan dari pelarut yaitu untuk memproses, membersihkan dan memisahkan bahan dengan cara melarutkan atau mengekstraksi bahan lain.

Salah satu jenis pelarut yang sering digunakan pada industri cat dan pelapis yaitu pelarut berbasis hidrokarbon (Stoye, 1994). Bahan baku pembuatan pelarut berbasis hidrokarbon salah satunya bersumber dari minyak mentah (*crude oil*) yang melalui proses fisik pada industri petrokimia, seperti proses *catalytic reforming*. Melalui proses tersebut minyak mentah diubah menjadi produk minyak berkualitas yang terdiri dari campuran cairan kompleks yang beragam dan mengandung unsur alifatik, alisiklik dan aromatik (C5-C8) (Wang dkk., 2018). Unsur-unsur tersebut merupakan komponen dalam pelarut berbasis hidrokarbon, namun aromatik hidrokarbon merupakan polutan lingkungan yang terkenal bersifat toksik, karsinogenik dan mutagenik

terhadap kesehatan manusia dan sistem ekologi (Sonwani dkk., 2021), sehingga industri mencoba untuk mengganti pelarut berbasis hidrokarbon tinggi aromatik dengan *dearomatized hydrocarbon solvent* yang memiliki unsur utama alifatik dan naftenat hidrokarbon dengan kandungan aromatik hidrokarbon dibawah 1% (Lund dkk., 1996). Pemisahan aromatik hidrokarbon dari campuran hidrokarbon lainnya tidak dapat dilakukan dengan menggunakan proses distilasi konvensional karena titik didih komponen aromatik dengan nonaromatik hidrokarbon yang sangat dekat (Franck dan Stadelhofer, 1988). Metode yang mungkin digunakan yaitu ekstraksi cair-cair, distilasi ekstraktif, dan distilasi azeotropik (Meindersma dan de Haan, 2008).

Dari ketiga metode, distilasi ekstraktif lebih disukai daripada ekstraksi cair-cair karena membutuhkan peralatan utama yang jauh lebih sedikit, hanya terdiri dari dua kolom distilasi yang diperlukan yaitu kolom ekstraksi dan kolom pemulihan pelarut (Fink, 2016) dan distilasi ekstraktif juga memiliki konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan dengan distilasi azeotropik (Lei dkk., 2003).



Gambar 1. Flowsheet Rekayasa Proses Pembuatan Pelarut Berbasis Hidrokarbon

Distilasi ekstraktif dalam prosesnya membutuhkan pelarut tambahan (*entrainer*) untuk mengubah volatilitas relatif komponen yang akan dipisahkan (Lei dkk., 2005). *Entrainer* sebagai *separating agent* yang dapat mempengaruhi kinerja dan ekonomi dalam suatu desain proses karena bekerja dengan meningkatkan selektivitas komponen yang diekstraksi dari umpan campuran, sehingga diinginkan pelarut dengan selektivitas yang tinggi (Woo dan Kim, 2019). Beberapa contoh *entrainer* yang digunakan berupa pelarut organik seperti sulfolana, n-methylpyrrolidone (NMP), N,N dimethylformamide (NFM) (Brouwer dan Schuur, 2020). Diantara pelarut organik, sulfolana memiliki nilai selektivitas yang paling tinggi, diambil dari data pemisahan antara heksana dan benzena nilai selektivitasnya yaitu 1,12 sedangkan selektivitas NFM sebesar 0,96 dan NMP sebesar 0,81 (Wang dkk., 2017). Sulfolana juga dinilai sebagai pelarut yang paling efisien dibandingkan pelarut NMP karena dapat memisahkan 99% aromatik hidrokarbon dari campuran nonaromatik hidrokarbon dengan kandungan aromatik sebesar 55% karena tingginya nilai selektivitas yang dimiliki (Hamid dan Ali, 1996).

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan rekayasa proses distilasi ekstraktif untuk produksi pelarut berbasis hidrokarbon rendah kandungan aromatik menggunakan *entrainer* sulfolana pada perangkat lunak Aspen Plus V10.

2. METODOLOGI

Pada simulasi rekayasa proses untuk produksi pelarut berbasis hidrokarbon rendah kandungan aromatik, bahan baku diperoleh dari

literatur (Wang dkk., 2018) yang dapat dilihat pada tabel 2.1. Variabel yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu variasi rasio *crude feed:sulfolana* (1:7; 1:7,5; 1:8; 1:8,5), variasi jumlah *stage* (70, 75, 80) dan variasi *feed stage* (*stage* ke-10 sampai ke-35). Proses simulasi terdiri dari tiga kolom yaitu kolom distilasi ekstraktif (K1), kolom pemurnian (K2) dan kolom *entrainer recovery* (K3).

Tabel 1. Komposisi *Crude Feed*

Komponen	Fraksi Massa
n-Butana	0,00016
n-Pentana	0,016
n-Hexana	0,108
n-Heptana	0,055
n-Oktana	0,014
Sikloheksana	0,019
Sikloheptana	0,012
Siklooktana	0,004
Benzena	0,378
Toluena	0,387
P-Xylena	0,002
M-Xylena	0,004
O-Xylena	0,00084

Kolom distilasi ekstraktif (K1) terdiri dari dua aliran umpan, yaitu *crude feed* dan sulfolana sebagai masukan awal kolom distilasi ekstraktif. Laju alir untuk *crude feed* sebesar 55.716 kg/jam dan laju alir untuk sulfolana berdasarkan pada variabel bebas variasi rasio *crude feed:sulfolana* (1:7; 1:7,5; 1:8; 1:8,5), variasi jumlah *stage* (70, 75, 80) dan variasi *feed stage* (*stage* ke-10 sampai ke-35).

Hasil atas kolom distilasi ekstraktif masuk ke kolom distilasi ekstraktif (K2) yang terdiri dari senyawa nonaromatik dan sedikit sisa aromatik. Sedangkan hasil bawah kolom

distilasi ekstraktif yang berisikan sulfolana dan senyawa aromatik masuk ke kolom *entrainer recovery* (K3) untuk dilakukan proses *recovery* sulfolana. Kemudian aliran *make up* sulfolana ditambahkan karena terdapat sulfolana yang hilang selama dilakukan proses *recovery* sulfolana.

Konfigurasi untuk simulasi pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 2. Konfigurasi ini bersifat tetap selama melakukan analisis sensitivitas dengan variasi rasio sulfolana:*crude feed*, variasi jumlah *stage* dan variasi *feed stage*.

Tabel 2. Konfigurasi Simulasi Distilasi Ekstraktif

Parameter	Nilai
Suhu crude feed (°C)	95
Suhu entrainer (°C)	98
Entrainer feed stage	1
Jumlah stage K2	12
Feed stage nonaromatik	36
Jumlah stage K3	34
Suhu stripwater (°C)	176
BTX Sulfo feed stage	25
Stripwater feed stage	35

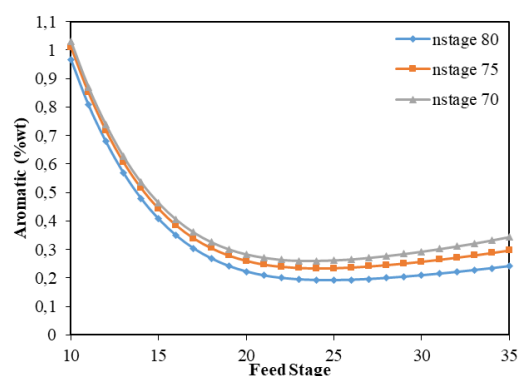
Distilasi adalah metode pemisahan atau pemurnian dengan prinsip kerja berdasarkan pada kesetimbangan uap-cair atau *vapour liquid equilibrium* (VLE) (Shen dan Chien, 2020). Model termodinamika digunakan untuk memprediksi sifat VLE pada suhu dan tekanan tertentu. *Equation-of-state* (EOS) dan *activity coefficient* (γ) model adalah model termodinamika yang digunakan dalam perhitungan VLE (Gebreyohannes dkk., 2014).

Non Random Two Liquid (NRTL) dan Redlich Kwong (RK) merupakan *equation-of-state* (EOS) dan *activity coefficient* (γ) model yang digunakan dalam penelitian ini. Model NRTL banyak digunakan untuk fluida nonideal untuk memprediksi kesetimbangan uap-cair (VLE), karena menawarkan keseimbangan terbaik antara kesederhanaan dan keandalan, serta penerapannya cocok untuk campuran dengan multikomponen (Vetere, 2004). Sedangkan model RK banyak digunakan untuk aplikasi pemrosesan campuran hidrokarbon pada tekanan rendah hingga tinggi (Aspen, 2005).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, dilakukan simulasi proses pemisahan aromatik dari nonaromatik hidrokarbon pada distilasi ekstraktif dengan menggunakan *entrainer* sulfolana. Jurnal yang di jadikan acuan dalam melakukan simulasi pada penelitian ini yaitu jurnal penelitian (Wang dkk., 2018). Setelah dilakukan simulasi proses pembuatan pelarut berbasis hidrokarbon rendah kandungan aromatik selanjutnya dilakukan analisis sensitivitas dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah sulfolana, jumlah *stage* dan variasi *feed stage* terhadap kandungan aromatik pada pelarut berbasis hidrokarbon.

3.1. Pengaruh *Feed Stage* dan Jumlah *Stage* terhadap Kandungan Aromatik



Gambar 2. Pengaruh *Feed Stage* dan Jumlah *Stage* terhadap Kandungan Aromatik

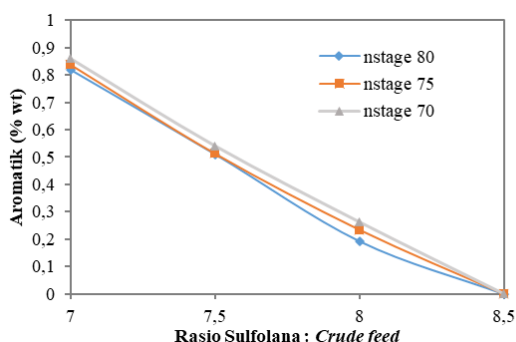
Kandungan aromatik menunjukkan tingkat kemurnian pada pelarut berbasis hidrokarbon. Pada gambar 2 menunjukkan hasil analisis sensitivitas *feed stage* dan jumlah *stage* terhadap kandungan aromatik dengan *entrainer feed stage* sebagai variabel tetap sehingga *entrainer feed stage* tidak berpengaruh.

Berdasarkan grafik tersebut kandungan aromatik paling rendah terdapat pada stage ke-25 dengan jumlah stage 80, sebesar 0,19245 %wt dengan kemurnian 99,80755 %wt. Hal ini dikarenakan waktu kontak antara *entrainer* sulfolana dengan *crude feed* semakin lama sehingga semakin bawah *feed stage* dan semakin banyak jumlah *stage*, kemurnian yang dihasilkan tinggi, yang artinya kandungan aromatik semakin rendah (Hartanto dkk., 2019).

3.2. Pengaruh Jumlah Sulfolana dan Jumlah *Stage* terhadap Kandungan Aromatik

Grafik pada gambar 3 menunjukkan pengaruh jumlah sulfolana dengan menggunakan variasi rasio sulfolana:crudefeed atau solvent-to-feed (S/F) ratio serta jumlah *stage* terhadap kandungan aromatik pada pelarut berbasis hidrokarbon dengan *entrainer feed stage* sebagai variabel tetap sehingga tidak mempengaruhi hasil simulasi ini.

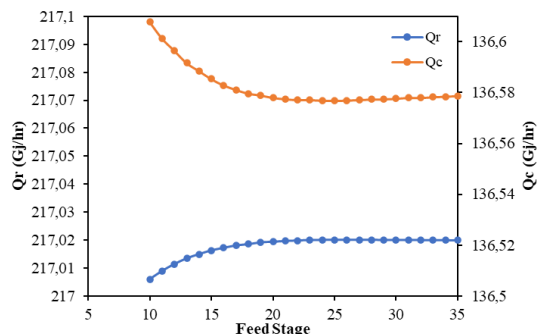
Berdasarkan pengamatan pada grafik, persentase massa aromatik pada produk pelarut berbasis hidrokarbon secara signifikan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya rasio (S/F).



Gambar 3. Pengaruh Jumlah Sulfolana dan Jumlah Stage terhadap Kandungan Aromatik

Hal ini dikarenakan kenaikan rasio S/F menyebabkan terjadinya peningkatan volatilitas relatif antara komponen aromatik dan nonaromatik hidrokarbon yang memiliki titik didih berdekatan (Navarro dkk., 2018). Kandungan aromatik paling rendah terdapat pada rasio S/F 8,5 dan jumlah stage 80 yaitu sebesar $4,83E-07$ %wt dengan kemurnian pelarut berbasis hidrokarbon sebesar 99,999 %wt.

1.4 Pengaruh *Feed Stage* terhadap Konsumsi Energi



Gambar 4. Pengaruh *Feed Stage* terhadap Konsumsi Energi

Konsumsi energi ditunjukkan dengan jumlah beban kondensor dan beban *reboiler*

pada simulasi proses pembuatan pelarut berbasis hidrokarbon.

Pada Gambar 4 dapat dilihat beban *reboiler* lebih tinggi daripada beban kondensor, karena proses distilasi dengan umpan yang memiliki titik didih berdekatan atau campuran azeotropik membutuhkan energi lebih besar pada *reboiler* (Hartanto dkk, 2019). *Feed Stage* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap beban kondensor dan beban *reboiler*, hasil pengaruh variasi *feed stage* terhadap beban kondensor dan beban *reboiler* cenderung konstan. Beban kondensor mengalami sedikit penurunan. Sedangkan beban *reboiler* mengalami sedikit peningkatan seiring meningkatnya *feed stage*. Hal ini disebabkan oleh transfer massa dari fase uap ke fase cair meningkat (Wibowo dkk., 2020).

1.5 Pengaruh Jumlah Sulfolana terhadap Total Annual Cost (TAC)

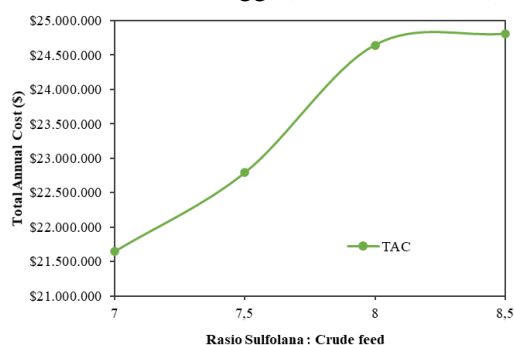
Total annual cost (TAC) merupakan rumus penjumlahan dari biaya energi dan biaya investasi modal tahunan yang diasumsikan sebagai investasi modal dibagi dengan periode pengembalian modal (Luyben, 2005). Persamaan TAC dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Total Annual Cost} = \text{Energy Cost} + \frac{\text{Capital cost}}{\text{Payback Period}} \quad (1)$$

Pada penelitian ini, analisis ekonomi bertujuan untuk mengetahui variasi jumlah sulfolana terhadap *total annual cost* (TAC) dengan jumlah *stage* 80, karena pada jumlah *stage* 80, dihasilkan kemurnian distilasi yang paling optimal. Dalam perhitungan TAC, *energy cost* merupakan penjumlahan biaya energi dari beban kondensor dan reboiler. Jenis *steam* yang digunakan adalah *low pressure steam* yaitu *steam* dengan tekanan atmosferik. *Capital cost* merupakan hasil perhitungan dari tinggi dan diameter kolom distilasi ekstraktif. Sedangkan waktu pengembalian modal atau *payback period* diasumsikan dalam jangka waktu 5 tahun.

Berdasarkan grafik TAC pada gambar 5 terjadi kenaikan harga TAC dari jumlah sulfolana terendah ke jumlah sulfolana tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah sulfolana yang ditambahkan maka semakin besar biaya produksi tahunan yang harus dikeluarkan karena kenaikan jumlah sulfolana berarti meningkatkan aliran cairan dalam reboiler. Peningkatan aliran cairan berefek pada meningkatnya beban reboiler

karena semakin banyak cairan yang akan dipanaskan dalam reboiler. Alasan ini dapat jadi bahan pertimbangan bahwa S/F yang digunakan tidak boleh terlalu tinggi (Zhou dkk., 2016).



Gambar 5. Pengaruh Jumlah Sulfolana terhadap Total Annual Cost (TAC)

KESIMPULAN

Rekayasa proses distilasi ekstraktif dengan menggunakan *entrainer* sulfolana menggunakan variasi rasio *crude feed*:sulfolana (1:7; 1:7,5; 1:8; 1:8,5), variasi jumlah *stage* (70, 75, 80) dan variasi *feed stage* (*stage* ke-10 sampai ke-35) menghasilkan pelarut berbasis hidrokarbon dengan kandungan aromatik dibawah 1%. Kondisi optimum pelarut berbasis hidrokarbon berada pada rasio *crude feed*:sulfolana 1:8, jumlah *stage* 80 dan *feed stage* ke 25.

DAFTAR PUSTAKA

- Aspen, I., (2005), *Aspen Properties*, Aspen tech, Bedford, pp. 12–18.
- Brouwer, T. and Schuur, B., (2020), Bio-based solvents as entrainers for extractive distillation in aromatic/aliphatic and olefin/paraffin separation, *Green Chemistry*, 22, pp. 5369–5375.
- Fink, J., (2016), *Guide to the Practical Use of Chemicals in Refineries and Pipelines*, *Guide to the Practical Use of Chemicals in Refineries and Pipelines*, Gulf Professional Publishing, Austria.
- Franck, H.-G. and Stadelhofer, J. W., (1988), *Industrial Aromatic Chemistry*, 1st Ed., Springer, Berlin, pp. 99 - 131.
- Gebreyhannes, S., Neely, B. J. and Gasem, K. A. M., (2014), Generalized nonrandom two-liquid (NRTL) interaction model parameters for predicting liquid-liquid equilibrium behavior, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 53, ppp. 12445–12454.
- Hamid, S. H. and Ali, M. A., (1996),

Comparative study of solvents for the extraction of aromatics from naphtha, *Energy Sources*, 18, pp. 65–84.

- Hartanto, D., Handayani, P. A., Sutrisno, A., Anugrahani, V. W., Mustain, A., Khoiroh, I. (2019), Isopropyl Alcohol Purification through Extractive Distillation using Glycerol as an Entrainer: Technical Performances Simulation and Design, *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 8, pp. 133–143.
- Lei, Z., Chen, B. and Ding, Z., (2005), *Special Distillation Processes*, Elsevier, Austria, pp. 59–144.
- Lei, Z., Li, C. and Chen, B., (2003), Extractive distillation: A review, *Separation and Purification Reviews*, 32, pp. 121–213.
- Lund, S. P., Simonsen, L. Hass, U., Ladefoged, O. Lam, H. R., and Ostergaard, G., (1996), Dearomatized white spirit inhalation exposure causes long-lasting neurophysiological changes in rats, *Neurotoxicology and Teratology*, 18, pp. 67–76.
- Luyben, W. L., (2005), Effect of feed composition on the selection of control structures for high-purity binary distillation columns, *Industrial Engineering Chemistry Research*, 44, 7800 - 7813.
- Meindersma, G. W. and de Haan, A. B., (2008), Conceptual process design for aromatic/aliphatic separation with ionic liquids, *Chemical Engineering Research and Design*, 86, pp. 745–752.
- Navarro, P., Larriba, M., Delgado-Mellado, N., Ayuso, M., Romero, M., García, J., Rodríguez, F., (2018), Experimental screening towards developing ionic liquid-based extractive distillation in the dearomatization of refinery streams, *Separation and Purification Technology*, 201, pp. 268–275.
- Shen, W. C. and Chien, I. L., (2020), Energy-efficient design of extraction-distillation process for 2,2,3,3-tetrafluoro-1-propanol/water separation with thermodynamically verified liquid-liquid and vapor-liquid equilibrium behaviors, *Separation and Purification Technology*, 238, pp. 116–447.
- Zhou, S; Patty, A., Shiming, C, (s), *Advance in energy Science and Equipment Engineering II*. 1st Ed., CRC Press., New York.

- Sonwani, R. K., Kim, K. H., Zhang, M., Tsang, Y. F., Lee, S. S., Giri, B. S., Singh, R. S., Rai, B. N., (2021), Construction of biotreatment platforms for aromatic hydrocarbons and their future perspectives, *Journal of Hazardous Materials*, 416, p. 125968.
- Stoye, D., (1994), *Paints, coatings and solvents*, *Composites Science and Technology*, John Wiley & Sons Inc., New Jersey, pp. 11 - 100.
- Varghese, J. J. and Mushrif, S. H., (2019), Origins of complex solvent effects on chemical reactivity and computational tools to investigate them: A review, *Reaction Chemistry and Engineering*, 4, pp. 165–206.
- Vetere, A., (2004), The NRTL equation as a predictive tool for vapor-liquid equilibria, *Fluid Phase Equilibria*, 218, pp. 33–39.
- Wang, A. Q. Chen, J. Y., Pan, M., He, C., He, C. C., Zhang, B. J., Chen, Q. L., (2018), A New Sulfolane Aromatic Extractive Distillation Process and Optimization for Better Energy Utilization, *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 128, pp. 80 - 95.
- Wang, Q. , Wang, Q., Zhang, B. J., He, C., He, C. . and Chen, Q. L., (2017), Optimal Design of a New Aromatic Extractive Distillation Process Aided by a Co-solvent Mixture, *Energy Procedia*, 105, pp. 4927–4934.
- Wibowo, Agung A. and Pramono, N. A. E., (2020), Simulasi Pengaruh Feed Tray Pada Pre-Kolom Distilasi Ekstraktif Dalam Proses Pemurnian Metil Asetat Menggunakan Chemcad, *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 6, pp. 265–270.
- Woo, H. C. and Kim, Y. H., (2019), Solvent selection for extractive distillation using molecular simulation, *AIChE Journal*, 65, pp. 1–10.