

# OPTIMALISASI PROSES PRODUKSI PARAXYLENA DENGAN METODE DISPROPORSIONASI TOLUENA MENGGUNAKAN KATALIS ZSM-5

Afifa Cheirina<sup>1\*</sup>, Agus Setiyono<sup>1</sup>, Zami Furqon<sup>1</sup>, Puspa Ratu<sup>1</sup>, Arif Nurrahman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Cepu Kabupaten Blora, 58312

\*E-mail: [afifacheirina@gmail.com](mailto:afifacheirina@gmail.com)

## ABSTRAK

Di Indonesia, kebutuhan terhadap paraxylene setiap tahun semakin meningkat. Berdasarkan data dari Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) menyebutkan bahwa sektor Petrokimia Hulu yang dikembangkan di Indonesia tahun 2024-2035 berfokus pada produk etilena, propilena, paraxylene, amonia, benzena, dan toluena. Permintaan yang tinggi mendorong Indonesia untuk dapat meningkatkan produksi dari paraxylene. Tantangan utama yang harus dihadapi adalah mengoptimalkan produksi paraxylene dengan tetap mempertimbangkan penggunaan energi melalui integrasi energi. Pengoptimalan produksi paraxylene dilakukan dengan memilih proses pembentukan paraxylene dengan tingkat konversi dan kemurnian tertinggi. Proses tersebut ialah disproporsionasi toluena menggunakan katalis ZSM-5 yang menghasilkan paraxylene dengan konversi sebesar 31% dan kemurnian 99,5%. proses disproporsionasi terjadi didalam *reactor fix bed* dengan suhu sebesar 450°C dan tekanan 30 atm. Berdasarkan uji coba yang telah dilakukan menggunakan simulator Aspen Hysys V.14 diperoleh flow rate paraxylene sebesar 44.494,47 kg/h dan kemurnian 99,62%. Kemudian untuk meningkatkan yield produk paraxylene maka dilakukan optimalisasi melalui integrasi panas menggunakan *waste heat boiler* yang memanfaatkan kembali panas reaksi. Adapun *flow rate* paraxylene yang diperoleh setelah optimasi yaitu 45.052,28 kg/h dengan kemurnian 99,66%. Kemurnian ini dapat dicapai salah satunya dengan pengoptimalan tray. Tray yang digunakan pada proses ini sebanyak 38 tray dengan inlet umpan 14 tray dan ratio reflux 2.

**Kata kunci:** Disproporsionasi, Optimasi, Paraxylene, Integrasi, Energi

## 1. PENDAHULUAN

Dewasa ini perkembangan industri di Indonesia mengalami peningkatan. Kegiatan pengembangan ini diharapkan dapat memenuhi dan meningkatkan kemampuan nasional dalam pemenuhan kebutuhan dalam negeri dan mengurangi ketergantungan terhadap impor. Diamanatkan dalam PP 14/2015 bahwa industri petrokimia merupakan fondasi industri nasional [1]. Berdasar pada data Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional pada sektor Petrokimia Hulu yang dikembangkan di Indonesia tahun 2024-2035 berfokus pada produk etilena, propilena, paraxylene, amonia, benzena, dan toluena [2].

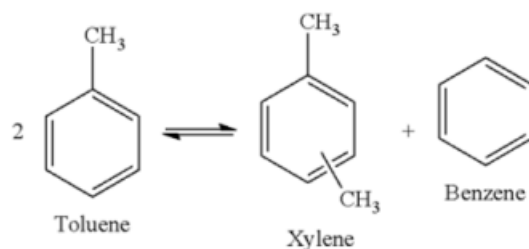
Paraxylene merupakan salah satu produk petrokimia yang sangat banyak kegunaannya, sehingga permintaan akan produk ini pun terus meningkat. Paraxylene dapat digunakan sebagai bahan baku *Dimethyl Terephthalate* (DMT), *Terephthalic Acid* (TPA), bahan baku pembuatan pestisida, plastik dan produk lainnya [3].

Di Indonesia kebutuhan akan paraxylene sangat tinggi, telah berdiri dan beroperasi beberapa industri yang bergerak di sektor ini. Namun, produk yang dihasilkan belum mampu memenuhi kebutuhan dalam negeri. Maka untuk dapat memenuhi kebutuhan tersebut perlu dilakukan pengoptimalan proses dari industri yang telah ada maupun yang mendatang. Pengoptimalan proses ini dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas produk.

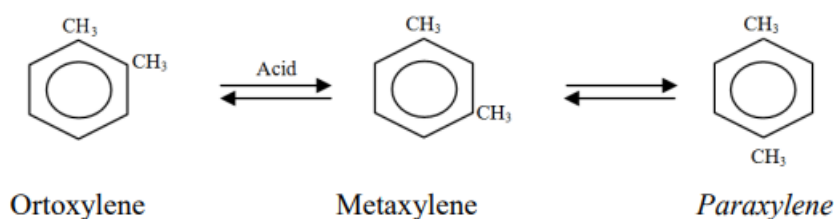
Penelitian ini bertujuan untuk menentukan metode proses pembentukan paraxylene yang menghasilkan yield paling tinggi dengan biaya yang serendah-rendahnya. Kemudian melakukan optimasi terhadap proses tersebut untuk menekan biaya operasional yang harus dikeluarkan.

Pada proses pembuatan paraxylene terdapat beberapa metode yang dapat digunakan yaitu ekstraksi aromatis, metilasi toluena, disproporsionasi toluena, adsorpsi dan isomerisasi, kristalisasi dan isomerisasi. Ekstraksi aromatis merupakan proses ekstraksi atau pemisahan senyawa-senyawa aromatik, nafta dan parafin menggunakan *tetraetilene glikol* (solvent), proses ini berdasar pada Paten Sulfolana Unit (UOP) [4]. Metilasi toluena merupakan proses menghasilkan toluena dengan mereaksikannya dengan methanol, proses ini berdasar pada Paten Breen et al, Paten US7321072B2 [5]. Disproporsionasi Toluena merupakan proses transalkilasi toluena membentuk benzena dan paraxylene, proses ini berdasar paten PxMax (Exxon UOP) [6]. Adsorpsi dan Isomerisasi merupakan proses pembentukan paraxylene dengan pemisahan isomer xylene menggunakan metode adsorpsi, proses ini berdasar pada paten Aromat, UOP. Kristalisasi dan isomerisasi adalah proses pemisahan isomer xylene dengan metode pengkristalan, proses ini berdasar paten Isomer, Maruzen [7].

Disproporsionasi toluena atau transalkilasi merupakan pemindahan alkil (metil) dari satu molekul toluena ke molekul toluena yang lain. Pembentukan paraxylene dengan metode disproporsionasi ini menggunakan 2 mol toluena dibantu katalis ZSM-5 membentuk 1 mol *mixed xylene* dan 1 mol benzena [8]. Paraxylene terbentuk oleh proses isomerisasi ortoxylena dan metaxylena di dalam pori katalis ZSM-5. Reaksi isomerisasi dapat terjadi disebabkan oleh difusivitas ortoxylena dan metaxylena lebih kecil dibandingkan paraxylene. Nilai konversi toluena menjadi paraxylene mencapai 15% - 31%. Gambar 1 dan 2 berikut merupakan reaksi yang terjadi [9].



**Gambar 1. Reaksi Disproporsionasi Toluena**



**Gambar 2. Reaksi Isomerisasi Xylene**

ZSM-5 merupakan zeolit yang membantu pembentukan paraxylene dari toluena. ZSM-5 memiliki ukuran pori sebesar 5,1-5,6 Angstrom (A) dengan struktur 3 dimensi dan bersifat asam [10]. Katalis ini memiliki kinerja yang sangat baik hingga mampu meningkatkan kemurnian produk hingga 99%. Kemurnian yang tinggi dapat dicapai melalui selektivitas katalis [11].

Reaksi disproporsionasi terjadi didalam reaktor dengan tekanan dan suhu tinggi. Suhu reaktor berkisar 350-500 °C karena kinerja terbaik dan paling aktif dari katalis terjadi pada rentang suhu tersebut. Selain itu, suhu yang tinggi dapat membantu mempercepat reaksi aktivasi

dan proses desorpsi pada pori-pori katalis [12]. Sedangkan tekanan reaktor berkisar 28-40 atm. Tekanan yang tinggi dapat membantu mempercepat proses absorpsi *toluena* pada pori katalis. Suhu dan tekanan tinggi diperlukan agar molekul reaktan dapat melakukan difusi ke katalis sehingga membentuk produk yang diinginkan [13]. Berdasarkan jurnal penelitian kinetic modeling and thermodynamics analysis of toluena disproportionation reaction over ZSM-5 based catalyst diperoleh bahwa suhu optimal untuk proses ini yaitu 425 °C karena pada suhu yang lebih tinggi juga tidak meningkatkan konversi toluena secara signifikan [14].

Mekanisme reaksi pada proses disproporsionasi toluena yaitu bermula dari pengubahan gas hidrogen menjadi gugus radikal hidrogenium oleh bantuan katalis. Selanjutnya radikal hidrogenium memutus ikatan gugus alkil dengan aromatis nya, sehingga terbentuklah benzena dan gugus alkil radikal bebas. Kemudian, gugus alkil radikal menyerang senyawa aromatis yang lain sehingga terbentuk *xylene* dan radikal hidrogenium. Dua molekul radikal hidrogenium membentuk gas hidrogen kembali. Proses ini dapat terjadi dengan bantuan dari katalis dan selektivitas nya [15].

## 2. METODE

Metode penelitian yang digunakan yaitu metode *study literature* yaitu dengan mengumpulkan, mengolah dan mengevaluasi informasi dan data yang diperoleh dari berbagai sumber tertulis. Penelitian ini memanfaatkan database online Google, Google Scholar, dan Indeks Sinta berupa jurnal ilmiah dan *handbook* yang mengacu pada industri penghasil paraxylene. Data yang diperoleh selanjutnya diolah dan dievaluasi menggunakan simulator Aspen Hysys untuk memperoleh pendekatan keadaan sebenarnya. Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kuantitatif. Data kuantitatif dari penelitian ini berupa *yield* produk.

Guna meningkatkan konversi toluena menjadi paraxylene dan menekan kebutuhan biaya maka dilakukan optimalisasi proses disproporsionasi toluena. Optimalisasi ini dilakukan dengan penggunaan katalis ZSM-5 dan penambahan alat *Waste Heat Boiler (WHB)*. *Waste heat boiler* merupakan peluang untuk memanfaatkan kembali panas proses dalam menghasilkan *steam* sebagai *utility* proses, sehingga biaya yang dibutuhkan untuk mensuplai energi dapat di minimalkan.

## 3. PEMBAHASAN

### A. Analisa Hasil Penelitian

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam pembentukan paraxylene. Setelah dilakukan *study literature* diperoleh perbandingan masing-masing metode seperti Tabel 1. Berdasarkan tabel 1, diperoleh bahwa metode disproporsionasi merupakan metode yang paling optimal dari segi konversi dan kemurnian. Reaksi disproporsionasi toluena tidak memiliki reaksi samping, dengan kemurnian 99,5% dan konversi sebesar 31%. Nilai konversi dari reaksi disproporsionasi dapat ditingkatkan dengan pengoptimalan kondisi operasi dan modifikasi katalis. Proses disproporsionasi toluena terjadi didalam reaktor dengan bantuan katalis. Pemilihan katalis yang digunakan sangat mempengaruhi konversi dari produk yang dihasilkan. Pada proses disproporsionasi ini digunakan katalis ZSM-5 yang telah diujikan memiliki kemampuan yang sangat baik dalam membentuk paraxylene berbahan dasar toluena. prinsip-prinsip dibalik katalisis selektif ini telah ditinjau secara ekstensif, misalnya oleh N.Y. Chen, W. E. Garwood dan F G. Dwyer dalam literatur "*Shape Selective Catalysis in Industrial Applications*". Salah satu sifat katalis yang sangat mempengaruhi pembentukan reaksi samping yaitu selektivitasnya, Selektivitas yang dimiliki oleh katalis yang membatasi dan mengarahkan suatu reaksi membentuk produk yang diinginkan.

**Tabel 1. Metode Produksi Paraxylena**

| <b>Nama Proses</b>     | <b>Ekstraksi Aromatis (UOP)</b>     | <b>Metilasi Toluena</b> | <b>Disproporsio nasi Toluena</b> | <b>Adsorpsi dan Iso-merasi Paraxy-lena</b>     | <b>Kristalisasi Dan Isomerisasi Xylene (Isomar, Maruzen)</b> |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|--|--|
| <b>Bahan</b>           | C <sub>8</sub> Aromatis             | Toluena, Metanol        | Toluena                          | C <sub>8</sub> Aromatis                        | C <sub>8</sub> Aromatis                                      |
| <b>Alat Proses</b>     | Ekstraktor                          | Fixed bed Reactor       | Fixed bed Reactor                | Adsorber dan Fixed bed Reactor                 | Kristalizer dan Fixed bed Reactor                            |
| <b>Reaksi Samping</b>  | Tidak Ada                           | Ada 2                   | Tidak Ada                        | Tidak Ada                                      | Tidak Ada  |
| <b>Temperatur</b>      | 87 °C                               | 440 °C                  | 470 °C                           | 450 °C   | -18 °C   |
| <b>Pressure</b>        | 1 atm                               | 2,4 atm                 | 21 atm                           | 24 atm   | 10 atm   |
| <b>Katalis</b>         | Tidak ada                           | Zeolit                  | ZSM-5                            | 1-9 support Barium                             | Tidak Ada  |
| <b>Purity Product</b>  | 88% – 90%                           | 90 %                    | 99,5 %                           | 90 %   | 95 %   |
| <b>Ekonomi</b>         | Memerlukan banyak solvent generator | Banyak reaksi samping   | Umur katalis panjang             | Modal besar dan pemurnian produk tidak efisien | Hanya untuk kapasitas kecil                                  |
| <b>Konversi Reaksi</b> | -                                   | 20 %                    | 31 %                             | 31,6 %   | 31 %   |

Selective agent dari katalis ZSM-5 adalah *organosiliceous* yang berguna untuk memperbaiki kinerja katalis dalam proses isomerisasi cepat ortoxylena dan metaxylena. Tabel 2 berikut merupakan data spesifikasi dari katalis ZSM-5. Tabel 2 menyebutkan spesifikasi katalis yang digunakan. Dalam mensimulasikan proses pembentukan paraxylena menggunakan simulator Aspen Hysys V.14 maka diperlukan beberapa data input seperti dalam Tabel 3 sebagai berikut.

**Tabel 2. Spesifikasi Katalis ZSM-5**

| Parameter    | Deskripsi  |
|--------------|--|
| Bentuk       | Pellet   |
| Fasa         | Solid  |
| Ukuran Pori  | 5 Å  |
| Diameter     | 2 mm   |
| Bulk Density | 0,72 kg/L  |
| Carrier      | Alumina (SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =38) |

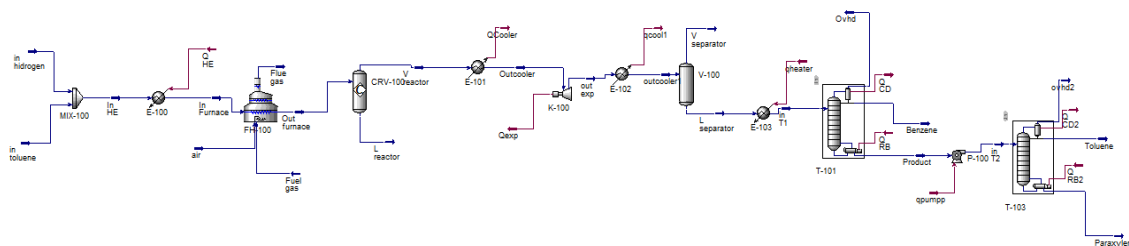
**Tabel 3. Data Kondisi Operasi**

| Name                   | input         |
|------------------------|---------------|
| Temperature            | 30 °C         |
| Pressure               | 30,4 atm      |
| Molar Flow             | 2861 kgmole/h |
| Composition Feed Input |               |
| Toluena                | 0,9990        |
| Paraxylena             | 0,0005        |
| metaxylena             | 0,0003        |
|                        | 0,0002        |

Tabel 3 diatas merupakan data kondisi operasi yang digunakan dalam simulasi *hysys* yang dilakukan. *Fluid package* yang digunakan ialah Peng-Robinson sesuai dengan industri minyak dan gas. Tabel 4 dibawah ini merupakan hasil dari konversi yang diperoleh dalam simulasi. Berdasarkan Tabel 4, terlihat bahwa konversi paraxylena yang terbentuk sudah tinggi, namun jika dilihat dari segi integrasi energi belum dilakukan, hal ini dapat meningkatkan kebutuhan energi dalam proses dan tidak termanfaatkannya energi yang dihasilkan pada proses. Berikut merupakan process flow diagram dari proses pembentukan paraxylena.

**Tabel 4. Data Kondisi Operasi**

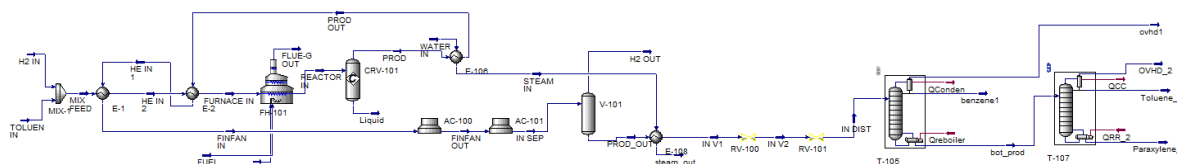
| komponen   | Fraksi mol |
|------------|------------|
| Toluena    | 0,0006     |
| Paraxylena | 0,9962     |
| metaxylena | 0,0019     |
| Ortoxylena | 0,0013     |



**Gambar 3. Simulasi Aspen Hysys Proses Disproporsionasi**

Dari gambar 3 diatas, terlihat bahwa masih terdapat peluang dari pengoptimalan energi dengan memanfaatkan kembali energi yang dihasilkan pada reaksi guna meminimalisir cost yang dikeluarkan sekaligus untuk menaikkan konversi produk. Dari gambar terlihat pemborosan energi ketika panas eksotermis dari reaksi di dinginkan menggunakan 2 cooler, sehingga penggunaan WHB merupakan opsi yang paling tepat.

### B. Optimalisasi Proses Menggunakan Aspen Hysys



**Gambar 4. Simulasi Aspen Hysys Proses Disproporsionasi**

Gambar 4 diatas menyebutkan bahwa pada optimalisasi proses disproporsionasi toluena dilakukan sistem integrasi panas yang telah disesuaikan dengan onion diagram. Sistem ini bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan panas proses sehingga menekan biaya kebutuhan utility. Salah satu integrasi panas yang dapat dilakukan yaitu mengintegrasikan heat exchanger dan menambah WHB. Integrasi panas ini dapat meminimalisir kebutuhan akan energi dari utility dan kebutuhan peralatan serta bahan bakar. Selain itu, pengoptimalan juga dilakukan dengan mengganti cooler menggunakan finfan. Penggunaan finfan dengan pemanfaatan pendinginan dari lingkungan akan menekan biaya kebutuhan media pendingin.

**Tabel 5. Perbandingan Sebelum dan Sesudah Optimasi**

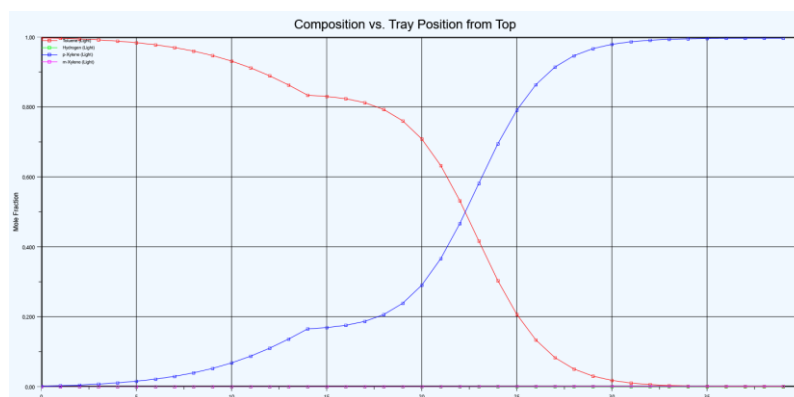
| Sebelum Optimasi    |                | Sesudah Optimasi    |                |
|---------------------|----------------|---------------------|----------------|
| Name                | Value          | Name                | Value          |
| Temperature         | 171 °C         | Temperature         | 167 °C         |
| Pressure            | 32,31 atm      | Pressure            | 30,10 atm      |
| Molar Flow          | 44.660 kg/h    | Molar Flow          | 45.210 kg/h    |
| Composition Product |                | Composition Product |                |
| Toluena             | 21,3551 kg/h   | Toluena             | 8,09 kg/h      |
| Paraxylene          | 44.494,47 kg/h | Paraxylene          | 45.052,28 kg/h |
| metaxylene          | 86 kg/h        | metaxylene          | 87,09 kg/h     |
| Ortoxylene          | 57,77 kg/h     | Ortoxylene          | 58,59 kg/h     |

Berdasarkan tabel 5 diatas, optimalisasi proses disproporsionasi toluena memiliki tujuan utama berupa peningkatan nilai konversi toluena menjadi paraxylene. Berikut merupakan data perbandingan konversi toluena sebelum dioptimasi dan setelah dioptimasi. Berdasarkan data simulasi diatas dapat dilihat bahwa setelah optimasi, suhu dan tekanan lebih rendah dibandingkan sebelum optimasi dengan konversi paraxylene lebih besar pula dengan selisih sebesar 557,81 kg/h. Dalam hal ini optimasi yang dilakukan telah berhasil meningkatkan yield dari produk dengan kemurnian yang tinggi yaitu 99,96%.

### C. Grafik Kemurnian Paraxylene

Kemurnian paraxylene merupakan salah satu faktor penting yang harus diperhatikan. Semakin tinggi kemurnian produk maka semakin sedikit pula komponen komponen lain yang terikut kedalam produk. Pada simulasi Hysys, kemurnian produk yang tinggi dapat diperoleh dengan pemisahan efisiensi tinggi. Untuk memperoleh pemisahan yang efisien maka perlu digunakan shortcut kolom guna mengetahui jumlah tray dan tray inlet umpan. Berdasarkan

hasil uji coba *shortcut* diperoleh jumlah tray sebanyak 38 tray dengan inlet umpan di tray ke 14 dan *reflux ratio* sebesar 2. Gambar 5 berikut merupakan grafik komposisi dari posisi tray.



**Gambar 5. Grafik Hubungan Komposisi dan Posisi Tray**

Berdasarkan gambar 5 diatas dapat diketahui bahwa, jumlah tray sebanyak 38 tray telah optimal untuk memisahkan toluena dan paraxylene, dimana hal ini dapat di lihat pada saat tray ke 38 terdapat paraxylene dengan fraksi mol mendekati 1 dan toluena mendekati 0. Hal ini berarti bahwa, pemisahan yang dilakukan baik sehingga kemurnian paraxylene yang diperoleh semakin tinggi.

#### 4. SIMPULAN

Pada proses produksi paraxylene metode dengan tingkat konversi tertinggi, kemurnian tinggi dan tidak terdapat reaksi samping yaitu metode disproporsionasi dengan bantuan katalis ZSM-5. Pada uji coba simulasi diperoleh persentase konversi toluena menjadi paraxylene sebesar 31% dengan flowrate sebesar 44.494,47 kg/h dan kemurnian sebesar 99,62. Namun, dibutuhkan energi yang sangat besar untuk mencapai konversi dan kemurnian tersebut, sehingga dilakukan optimalisasi integrasi panas. Implementasi *waste heat boiler* dalam proses disproporsionasi adalah untuk memanfaatkan kembali panas hasil reaksi sebagai media pemanas boiler, sehingga dapat dihasilkan *steam* yang dapat digunakan dalam proses. Setelah dilakukan optimasi dengan mengintegrasikan panas diperoleh *flow rate* paraxylene sebesar 45.052,28 kg/h dengan kemurnian 99,96%. Dengan dilakukannya optimalisasi integrasi panas maka dapat meningkatkan *yield* produk dan kemurniannya serta dapat menekan biaya produksi.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPS, "Data impor paraxylene di indonesia" Badan Pusat Statistik, Jakarta, 2014.
- [2] Kementrian Perindustrian Republik Indonesia, "Strategi industri untuk meningkatkan daya saing", 2016.
- [3] Kementrian Perindustrian Republik Indonesia, "Penggunaan paraxylene di dunia industri" Jakarta, 2014.
- [4] H. S. Sukhdev and L. Gennaro, "Liquid-liquid extraction", Hokkaido University, 2018.
- [5] I. Riyaldi, "Pra rencana pabrik pembuatan paraxylene kapasitas 275.000 ton/tahun", Palembang: Universitas Sriwijaya, 2017.
- [6] S. Sumari dan P. I. Suryani, "Pengaruh komposisi  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  dalam sintesis ZSM-5 bersumber silika pasir pantai lokal," Journal Cis-Trans, 2020.
- [7] N. K. Davi dan A. P. Dewi, "Pabrik p-xylene dari toluena dan hidrogen dengan proses disproporsionasi toluena," Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November, 2016.

- [8] M. A. Ali and S. Haji, "Kinetic modeling and thermodynamic analysis of toluene disproportionation reaction over ZSM-5 based catalysts," ScienceDirect, 2022.
- [9] Frey, S. J., Cited, R., & Documents, U. S. P. (2014). (12) United States Patent. 2(12).
- [10] L. Xu and X. Zhang, "Method for preparing p-xylene and co-producing propylene with high selectivity," US Patent Publication No. 20170152197, 2017.
- [11] H. Heriz, "Sintesis katalis H-ZSM-5 dari zeolit alam wonosari untuk konversi etanol menjadi olefin," Jurnal LEMIGAS vol 54 No.3, 2020.
- [12] P. Anisa dan H. F. Khairul, "Prarancang pabrik etilbenzena dari benzena dan etilena dengan proses monil badger menggunakan katalis zeolit ZSM-5 kapasitas 150.000 ton/tahun," Jurnal Tugas Akhir Teknik, 2020.
- [13] U. S. Ubam and A. Bello, "Benzene-toluene-xylene production process from liquefied petroleum gas using Aspen Hysys and Aspen Energy Analyzer," International Journal of Research and Scientific Innovation, 2019.
- [14] Hartati. "Sintesis zeolit ZSM-5 dari matakaolin terdealuminasi tanpa cetakan organik dengan metode desilikasi," Akta Kimindo Vol 4(1), 2019.
- [15] H. R. Indri, "Prarancang pabrik paraxylene menggunakan proses alkilasi toluena dengan kapasitas 150.000 ton/tahun," Universitas Malikussaleh, 2024.