

PENENTUAN KAPASITAS PRODUKSI DAN SELEKSI PROSES PRA RANCANGAN PABRIK KIMIA PEMBUATAN ALPHA TERPINEOL DARI TERPENTIN

Nadia Nur Maritsa dan Zakijah Irfin

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
nadianmaritsa08@gmail.com ; zakijah.irfin@polinema.ac.id

ABSTRAK

Terpentin mentah dari Indonesia biasanya diekspor tanpa diproses, padahal pengolahan terpentin menjadi alpha-terpineol dapat meningkatkan pendapatan negara. Pengolahan terpentin menjadi alpha-terpineol lebih menguntungkan dibandingkan penjualan dalam bentuk mentah. Penelitian ini bertujuan untuk menetapkan kapasitas produksi dan proses optimal untuk pabrik alpha-terpineol. Mendirikan pabrik di Indonesia dapat memenuhi kebutuhan domestik dan mengurangi ketergantungan impor. Penentuan kapasitas produksi pabrik dilakukan dengan metode linier dan discounted, menggunakan data produksi, konsumsi, ekspor, impor, dan rata-rata tahunan. Prarancangan pabrik juga mencakup pemilihan proses, termasuk tangki reaktor dan katalis yang efisien. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pabrik direncanakan memiliki kapasitas produksi sebesar 700 ton per tahun dengan penggunaan tangki batch dan katalis asam sulfat. Pendirian pabrik ini diharapkan dapat meningkatkan nilai ekonomi terpentin serta menjamin efisiensi operasional dan keuntungan ekonomi yang berkelanjutan.

Kata kunci: *alpha-terpineol, kapasitas produksi, seleksi proses, terpentin*

ABSTRACT

Raw turpentine from Indonesia is usually exported unprocessed, whereas processing turpentine into alpha-terpineol could increase state revenue. Processing turpentine into alpha-terpineol is more profitable than selling it in its raw form. This research aims to establish the production capacity and optimal process for the alpha-terpineol plant. Establishing a factory in Indonesia can meet domestic needs and reduce dependence on imports. The determination of the factory's production capacity is carried out using linear and discounted methods, utilizing data on production, consumption, exports, imports, and annual averages. The preliminary design of the plant also includes the selection of processes, including efficient reactor tanks and catalysts. The research results indicate that the factory is planned to have a production capacity of 700 tons per year using batch tanks and sulfuric acid catalysts. The establishment of this factory is expected to enhance the economic value of turpentine while ensuring operational efficiency and sustainable economic benefits.

Keywords: *alpha terpineol, production capacity, selection process, terpentin*

1. PENDAHULUAN

Sektor kehutanan Indonesia telah memberikan kontribusi signifikan dalam perekonomian nasional, khususnya sebagai produsen terkemuka dalam industri kayu lapis global. Hasil hutan non-kayu seperti jelutong, tengkawang, kemiri, sutra alam, gaharu, sarang walet, gondorukem, dan terpentin juga menjadi komoditas perdagangan penting baik untuk

pasar domestik maupun ekspor [1]. Getah pinus merupakan hasil non-kayu yang digunakan untuk memproduksi gondorukem dan terpentin, dua produk ini memiliki nilai jual yang tinggi [2]. Minyak terpentin dapat dipisahkan menjadi berbagai komponen yang dapat diolah lebih lanjut menjadi produk turunan lainnya, seperti alpha-terpineol [3]. Terpineol banyak digunakan dalam industri kosmetik sebagai parfum dan pengusir serangga, dalam industri farmasi sebagai antijamur dan desinfektan, serta dalam produk pembersih untuk menghilangkan bau, serta sebagai anti tumor dan kanker [4, 5]. Alpha-terpineol menjadi bahan baku untuk berbagai produk, sehingga pengolahan alpha-pinena menjadi alpha-terpineol maupun turunan terpentin lainnya lebih menjanjikan dibandingkan dengan produksi alpha-pinena atau terpentin yang dijual mentah [6]. Pengembangan terpentin berpotensi meningkatkan pendapat negara, seperti pengolahan terpentin selanjutnya menjadi alpha-terpineol. Tingkat kemurnian turunan terpentin memiliki peran yang signifikan dalam menentukan nilai ekonomis produk. Turunan dengan kemurnian lebih tinggi cenderung menunjukkan kualitas yang lebih baik, yang secara langsung berdampak pada peningkatan nilai jualnya. Kemurnian produk sering dijadikan indikator utama dalam menetapkan harga, karena produk berkualitas tinggi lebih diminati oleh industri yang memerlukan bahan baku unggul untuk berbagai aplikasi. Upaya meningkatkan kemurnian turunan terpentin menjadi langkah strategis untuk meningkatkan daya tarik dan nilai pasar produk [7].

Terpentin mentah dari Indonesia sering diekspor tanpa pengolahan lebih lanjut [8]. Produksi gondorukem dan terpentin menunjukkan ketidakstabilan yang disebabkan oleh fluktuasi dalam produktivitas perusahaan pengelola [9]. Perhutani, sebagai pengelola hutan di Pulau Jawa, belum mampu mengoptimalkan penggunaan hasil hutan. Saat ini, Perhutani hanya memproduksi 10% derivat gondorukem, sementara China mencapai lebih dari 70% dan Brazil 11%. Perhutani mengharapkan nilai tambah derivat gondorukem sekitar 20-30% dan derivat terpentin sekitar 50-60%. Harga produk berkisar antara USD 2.000 hingga USD 4.000 per ton, dengan beberapa produk mencapai USD 15.000 per ton [10].

Untuk memenuhi kebutuhan alpha-terpineol dalam negeri dan mengurangi ketergantungan impor, mendirikan pabrik alpha-terpineol di Indonesia menjadi salah satu solusinya. Prarancangan pabrik memerlukan berbagai pertimbangan penting, terutama pada penentuan kapasitas produksi dan seleksi proses. Semakin besar kapasitas, semakin besar pula keuntungan yang dapat diperoleh karena semakin meningkat pula permintaan pasar [11]. Seleksi proses dalam prancangan pabrik kimia penting untuk menjamin efisiensi, keamanan, pengendalian biaya, dan kualitas produk yang optimal [12]. Beberapa proses dapat dieliminasi dengan membandingkan variabel-variabel penting dalam seleksi proses, seperti pemilihan katalis dan penggunaan teknologi paling efektif untuk pendirian pabrik [13].

Proses sintesis alpha-terpineol dapat menggunakan asam klorida, asetat, oksalat, dan kloroasetat [14]. Penelitian yang dilakukan Selfiana, dkk (2018), menunjukkan bahwa sintesis terpentin menggunakan katalis asam sulfat juga bisa dilakukan dengan konversi yang didapat mencapai 99,926% dan selektivitas 18,9013% [15]. Penelitian Khikmah dan Utami (2019), penggunaan asam trikloroasetat dalam proses sintesis alpha-terpineol mendapatkan konversi 96,293% serta selektivitas 34,429% [16]. Menurut Prakoso, dkk (2020), dibandingkan dengan penggunaan katalis tunggal yang lemah atau organik, penambahan katalis asam kuat dapat meningkatkan konversi sebesar 20-40% [6].

Maka dengan berbagai pilihan katalis yang tersedia, seleksi proses untuk menentukan katalis yang paling efektif dan efisien menjadi penting dalam perancangan pabrik terpineol ini. Pemilihan reaktor pun juga perlu ditentukan untuk memaksimalkan kinerja selama operasi pabrik terpineol. Penelitian ini juga memperhitungkan aspek lingkungan dan peraturan yang berlaku untuk memastikan operasional pabrik berkelanjutan. Dengan kapasitas yang optimal, diharapkan pabrik terpineol ini dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap industri kimia di Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kapasitas dan proses seleksi reaktor serta pemilihan katalis untuk produksi pabrik terpineol yang direncanakan di Karawang pada tahun 2026, dengan menggunakan minyak terpentin sebagai bahan baku. Tujuan pendirian pabrik ini untuk meningkatkan nilai jual minyak terpentin melalui pengolahan menjadi turunan seperti terpineol, serta mendukung peningkatan pendapatan negara. Berbagai metode produksi alpha-terpineol perlu dievaluasi untuk memilih proses yang paling efisien, sehingga dapat mencapai hasil optimal dengan biaya dan kebutuhan energi yang minimal.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Kapasitas Produksi

Kapasitas produksi merupakan salah satu faktor penting dalam pendirian pabrik, yang dapat mempengaruhi perhitungan ekonomi dan teknis. Pabrik yang akan dirancang mempengaruhi perhitungan ekonomi dan teknis. Pabrik yang akan dirancang memerlukan perhitungan menyeluruh dan akurat untuk memenuhi kebutuhan pasar. Untuk menentukan kapasitas produksi, diperlukan data seperti produksi, konsumsi, ekspor, dan impor [17].

Perhitungan pertumbuhan rata-rata pertahun : Perhitungan dilakukan untuk menghitung kenaikan setiap tahun dan dirata-ratakan untuk pertumbuhan tahunan menggunakan metode linier atau metode discounted.

Metode linier :

$$i = \frac{\sum \%P}{n} \quad (1)$$

Dimana :

i : Pertumbuhan rata-rata pertahun

$\sum \%P$: Persen pertumbuhan pertahun

n : jumlah data persen pertumbuhan

Metode discounted :

$$F = P(1 + i)^n \quad (2)$$

Nilai persen pertumbuhan pertahun dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

$$\%P = \frac{\text{data tahun setelah} - \text{data tahun sebelum}}{\text{data pada tahun sebelum}} \quad (3)$$

Prediksi peluang kapasitas produksi : Estimasi peluang kapasitas produksi dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$m = P(1 + i)^n \quad (4)$$

Dimana :

- m : jumlah produk pada tahun yang diperhitungkan
 P : jumlah produk pada tahun terakhir yang diketahui
 i : rata-rata pertumbuhan per tahun
 n : selisih tahun

$$m_1 + m_2 + m_3 = m_4 + m_5 \quad (5)$$

Dimana :

- m₁ : jumlah impor pada tahun yang diperhitungkan
 m₂ : jumlah produksi pabrik lama pada tahun yang dipertahankan
 m₃ : jumlah produksi pabrik baru pada tahun yang diperhitungkan
 m₄ : jumlah ekspor pada tahun yang diperhitungkan
 m₅ : jumlah konsumsi pada tahun yang diperhitungkan

2.2. Seleksi Proses

Pemilihan proses dilakukan dengan mengevaluasi dan membandingkan penggunaan berbagai jenis katalis asam serta efisiensi penggunaan reaktor. Dengan mempertimbangkan aspek ekonomi, lingkungan, dan spesifikasi produk. Pada dasarnya, produksi alpha-terpineol melibatkan proses di mana alpha-pinene dihidrasi menjadi produk antara, yaitu terpine hidrat kemudian diikuti oleh proses dehidrasi untuk menghasilkan produk utama alpha-terpineol.

Proses ini dibantu oleh katalis asam kuat untuk meningkatkan kecepatan reaksi, dan larutan alkohol digunakan sebagai pelarut. Sejumlah katalis asam yang dapat diterapkan dalam sintesis alpha-terpineol meliputi asam klorida, asam asetat, asam oksalat dan asam kloroasetat [14]. Dalam memilih dari berbagai metode produksi alpha-terpineol yang tersedia, penting untuk memilih proses yang paling efisien secara ekonomi dan energi guna mencapai hasil optimal dengan biaya dan konsumsi energi yang minimal.

Reaktor kimia mencakup berbagai tempat di mana reaksi kimia terjadi, mulai dari skala kecil seperti tabung reaksi hingga skala besar seperti reaktor industri. Efisiensi menjadi pertimbangan utama dalam desain reaktor, karena hal ini dapat meningkatkan produksi produk secara maksimal sambil meminimalkan biaya operasional [18].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perhitungan Kapasitas

Kapasitas produksi merupakan salah satu elemen dalam proses pendirian pabrik yang berpengaruh terhadap pertimbangan ekonomi dan teknis. Pabrik yang akan dirancang harus melalui perhitungan menyeluruh dan akurat untuk dapat memenuhi permintaan pasar. Dalam menghitung kapasitas produksi suatu pabrik, diperlukan data seperti data produksi, konsumsi, ekspor, dan impor yang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data supply demand alpha-terpineol di Indonesia

Tahun	Ekspor (ton)	Impor (ton)	Produksi
2017	0	2115,361	1.800
2018	0	1875,795	1.800
2019	0	1868,313	1.800
2020	0	3742, 419	1.800
2021	0	2485,169	1.800
Rata Rata	0	2417,4114	1.800

Sumber : Badan Pusat Statistika [19]

Berdasarkan data dalam Tabel 1, nilai ekspor α -terpineol adalah 0 karena hingga saat ini belum ada ekspor untuk produk tersebut. Selain data ekspor dan impor, diperlukan pula data produksi dan konsumsi untuk menghitung kapasitas pabrik. Di kawasan Asia Tenggara, hanya ada satu perusahaan yang memproduksi α -terpineol, yaitu Perhutani Pine Chemical Industry (PPCI), anak perusahaan dari Perhutani. Namun, kapasitas produksinya hanya mencapai 1.800 ton per tahun, sehingga Indonesia harus mengimpor α -terpineol dari negara lain untuk memenuhi kebutuhan domestik. Karena data konsumsi α -terpineol tidak tersedia, diasumsikan bahwa data impor mencerminkan konsumsi α -terpineol di Indonesia.

Tabel 2. Data pertumbuhan alpha-terpineol di Indonesia

Tahun	Ekspor	Impor	Produksi
2017-2018	0%	-11%	0%
2018-2019	0%	-0,4%	0%
2019-2020	0%	100%	0%
2020-2021	0%	-34%	0%
Rata Rata	0%	55%	0%

Kondisi *supply demand* alpha-terpineol di Indonesia pada tahun 2026 dapat diproyeksikan dengan menggunakan metode *discounted*. Dengan menggunakan jumlah produk pada akhir tahun, jumlah produk pada tahun pertama dan data persentase pertumbuhan yang tercantum pada table 1, diperoleh bahwa nilai pertumbuhan rata-rata tahunan untuk produksi adalah 0% dan untuk impor adalah 3%. Kebutuhan impor pada tahun 2026 sebesar 2.919,627 ton dengan produksi 1.800 ton yang dilihat dari hasil perhitungan pertumbuhan rata-rata tahunan dan data ditahun terakhir yaitu pada tahun 2021.

Berdasarkan perhitungan prediksi peluang kapasitas produksi yang telah dilakukan, jumlah total untuk tahun 2026 mencapai 1.119,627 ton pertahun. Jika pabrik yang akan didirikan sudah memiliki keserupaan dengan pabrik lain, maka pabrik tersebut mampu menyediakan 60% dari total kebutuhan α -terpineol. Ini berarti pabrik dapat memproduksi 671,7762 ton pertahun, yang kemudian dibulatkan sehingga kapasitas produksi pabrik α -terpineol adalah sebesar 700 ton per tahun.

3.2. Seleksi Proses

Dalam proses produksi α -terpineol, ada beberapa aspek penting yang perlu dipertimbangkan, termasuk jenis proses, pemilihan alat, dan bahan. Pemilihan proses yang tepat diharapkan dapat memberikan keuntungan yang tinggi dan efisiensi tanpa harus

mengeluarkan biaya tambahan untuk peralatan atau bahan pendukung, sehingga proses produksi dapat berjalan secara optimal. Beberapa aspek ini diperhitungkan secara menyeluruh dalam menentukan proses pembuatan α -terpineol.

Katalis merupakan zat yang mampu mempercepat laju reaksi kimia tanpa mengalami perubahan dalam jumlah maupun struktur kimianya selama reaksi berlangsung [20]. Katalis adalah elemen utama dalam perubahan bahan kimia. Sebagian besar proses sintesis kimia dan hampir semua reaksi biologis melibatkan penggunaan katalis. Diperkirakan sekitar 85-90% produk kimia dihasilkan melalui reaksi yang melibatkan katalis. Dulu, katalis diyakini tidak mengalami perubahan selama reaksi berlangsung. Namun, sekarang diketahui bahwa terjadi interaksi antara katalis dan reaktan selama proses reaksi. Katalis bereaksi dengan reaktan dan kemudian terpisah dari produk pada akhir reaksi. Selain mempercepat laju reaksi, katalis juga dapat memengaruhi selektivitas reaksi kimia [20].

Penggunaan katalis asam trikloroasetat atau asam kloroasetat mempercepat proses, sementara penggunaan asam sulfat memerlukan waktu lebih lama karena adanya tahap tambahan untuk menetralkan asam. Hal ini mengakibatkan perbedaan jumlah peralatan dalam produksi α -terpineol.

Proses dengan katalis asam trikloroasetat dan asam kloroasetat membutuhkan modal awal besar karena harga bahan yang mahal, sehingga memerlukan waktu lama untuk balik modal. Sebaliknya, katalis asam oksalat memerlukan modal awal kecil karena harganya murah, tetapi konversi α -terpineol yang dihasilkan rendah. Pabrik ini memilih katalis asam sulfat karena harganya cukup murah dan menghasilkan konversi tinggi, meningkatkan nilai ROR (*Rate of Return*). Nilai POT (*Pay Out Time*) lebih besar jika modal awal kecil, mempercepat waktu pengembalian modal.

Dilihat dari perspektif lingkungan, penggunaan katalis asam sulfat mengakibatkan terbentuknya produk samping dan limbah. Katalis asam trikloroasetat menghasilkan produk samping berupa *terpine hydrate* jika suhu operasi melebihi 65°C , namun tidak menghasilkan limbah.

Tabel 3. Pemilihan bahan sebagai katalis proses pembuatan terpineol dilihat dari kondisi operasi, aspek ekonomi, aspek lingkungan, dan spesifikasi produksi [16, 21, 15, 14, 22]

Parameter	Asam Sulfat	Grade	Asam Oksalat	Grade	Asam Kloroasetat	Grade	Asam Trikloroasetat	Grade
Kondisi Proses								
Waktu	3 jam	82	4 jam	80	4 jam	80	1 jam	85
Pemanasan								
Jumlah Alat	>6	75	<6	80	<6	80	<6	80
Kondisi Operasi								
Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	80	80	70	82	70	82	65	85
Aspek Ekonomi								
Investasi	Kecil	85	Kecil	85	Besar	80	Sangat Besar	75
ROR	Besar	85	Kecil	85	Kecil	80	Kecil	75
POT	Cepat	85	Cepat	85	Lama	80	Lama	75
Aspek Lingkungan								
Pengolahan Limbah	Netralisasi	80	Netralisasi	80	Recycle	85	Recycle	85

Parameter	Asam Sulfat	Grade	Asam Oksalat	Grade	Asam Kloroasetat	Grade	Asam Trikloroasetat	Grade
Spesifikasi Produk								
Konversi	99,926%	89	40%	75	54,13%	75	96,3%	85
Total		821		812		802		805

Konversi dan selektivitas alpha terpineol tertinggi ketika direaksikan dengan katalis asam sulfat kecepatan pemutaran reactor 600 rpm dengan waktu eaksi 1 hingga 3 jam, konversi yang didapatkan sebesar 99,926% dan selektivitas mencapai 18, 9013% [15]. Hidrasi menggunakan katalis asam kloroasetat menghasilkan konversi sebesar 54,13% pada waktu reaksi 240 menit dan kecepatan pencampuran 546 rpm [21]. Konversi sintesis dengan menggunakan katalis asam trikloroasetat didapatkan sebesar 96,293% dengan selektivitas 34,429%, pada suhu reaksi 65°C dan waktu reaksi 1 jam [16]. Sedangkan penggunaan katalis asam oksalat sebagai katalis memberikan konversi 40% [14].

Reaktor adalah sebuah perangkat yang digunakan sebagai tempat berlangsungnya reaksi, baik reaksi kimia maupun nuklir. Reaktor kimia mencakup semua tempat dimana reaksi kimia terjadi, mulai dari skala kecil seperti tabung reaksi hingga skala besar seperti reaktor industri [23]. Banyak faktor yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan jenis reaktor yang akan digunakan, termasuk jenis reaksi, skala produksi yang direncanakan, biaya peralatan dan operasional, keamanan operasi, stabilitas dan fleksibilitas operasional, umur peralatan, durasi produksi yang diharapkan, serta kemudahan konversi peralatan ke kondisi operasi yang dimodifikasi atau ke proses baru yang berbeda [24].

Tabel 4. Pemilihan jenis reaktor pembuatan terpineol dilihat dari kondisi operasi, aspek ekonomi, kapasitas produksi, tingkat kesulitan *maintenance*, dan spesifikasi umpan & produk [24, 18, 25]

No.	Parameter	Batch Reaktor	Grade	CSTR	Grade	PFR	Grade
1.	Kondisi Operasi						
	Waktu tinggal Pengoperasian	Besar Batch	90 90	Sedang Kontinyu	85 75	Kecil Kontinyu	75 75
2.	Aspek Ekonomi						
	Investasi	Kecil	90	Besar	75	Besar	75
	ROR	Besar	90	Kecil	75	Kecil	75
3.	Kapasitas Produksi						
	POT	Cepat	90	Lambat	75	Lambat	75
4.	Tingkat Kesulitan Maintenance	Rendah	90	Rendah	90	Tinggi	75
5.	Spesifikasi Umpan & Produk						
	Umpan (%)	Besar	85	Besar	85	Kecil	90
	Hasil (%)	Besar	85	Besar	85	Besar	85
	Total		800		720		700

Sumber : Chemical Reaction Engineering Third Edition [24]

Reaktor batch dioperasikan pada kondisi isothermal dengan volume konstan untuk mempermudah interpretasi hasil eksperimen. Oleh karena itu, reaktor batch umumnya digunakan dalam skala kecil di laboratorium. Pada reaktor CSTR dan PFR, terdapat aliran masuk dan keluar

yang menyebabkan produk akhir kurang seragam. Namun, reaktor CSTR dan PFR tetap cocok untuk operasi industri berskala besar yang berjalan secara kontinyu [24].

Reaktor batch memiliki biaya investasi yang lebih rendah karena digunakan untuk skala kecil dan perawatannya lebih murah [25]. Sebaliknya, reaktor CSTR memerlukan investasi terbesar karena membutuhkan volume besar. Reaktor PFR memiliki biaya operasi tertinggi karena biaya perawatannya mahal [18]. Proses dengan reaktor batch dipilih di pabrik ini karena alatnya murah dan menghasilkan konversi tinggi, sehingga nilai ROR (*Rate of Return*) lebih besar. Nilai POT (*Pay Out Time*) juga lebih tinggi karena modal yang dikeluarkan kecil, mempercepat waktu pengembalian modal.

Dalam aspek lingkungan, penggunaan ketiga jenis reaktor memiliki dampak lingkungan yang serupa. Namun, reaktor CSTR kadang menghasilkan endapan karena gaya sentrifugal sehingga memerlukan pengolahan limbah tambahan. Jika ketiga reaktor dioperasikan untuk mencapai konversi yang sama, reaktor PFR membutuhkan volume terkecil. Sebaliknya, reaktor batch dan MFR memerlukan volume lebih besar untuk mencapai konversi yang sama.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penentuan kapasitas produksi dan seleksi proses merupakan langkah krusial sebelum mendirikan pabrik. Penelitian ini membahas penentuan kapasitas produksi dan seleksi proses pra-rancangan pabrik alpha-terpineol dari terpentin yang direncanakan akan dibangun pada tahun 2026 di Karawang. Perhitungan dengan metode pertumbuhan rata-rata tahunan memperkirakan kapasitas produksi sebesar 700 ton pertahun. Hal ini dicapai dengan menggunakan reaktor batch untuk pencampuran bahan dan pemilihan katalis asam yang mendukung proses hidrasi alpha-pinena menjadi alpha-terpineol. Pendirian pabrik Terpineol dengan kapasitas 700 ton pertahun ini dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri dan meningkatkan nilai ekonomi terpentin. Pencapaian efisiensi operasional produksi terpineol dalam pabrik ini dapat dicapai dari hasil pemilihan reaktor batch sebagai alat pereaksi saat proses dan penggunaan katalis asam sulfat, serta dapat menjamin operasi yang optimal dan berkelanjutan.

Penelitian berikutnya disarankan untuk melakukan peninjauan ulang terhadap kualitas ekspor dan impor pada tahun-tahun sebelumnya, terutama yang terkait dengan minyak terpineol. Peninjauan ulang ini ditujukan untuk memperoleh data yang lebih akurat. Selain itu, penelitian selanjutnya juga sebaiknya mempertimbangkan seleksi proses dalam pemilihan pelarut yang digunakan dalam pembentukan terpineol, serta dalam pemilihan metode distilasi yang paling efektif untuk memisahkan produk samping dari produk utama.

REFERENSI

- [1] M. H. Syafrani, R. Iskandar dan I. Gani, "Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Ekonomi Sektor Kehutanan dan Dampaknya Terhadap Kesempatan Kerja," *INOVASI*, vol. 13, no. 2, hal. 110-120, 2017.
- [2] S. Suluh dan P. Sampelawang, "Studi Eksperimen Limbah Buah Pinus sebagai Sumber Energi Alternatif Ditinjau dari Variasi Butiran," *Journal DYNAMIC SAINT*, vol. 3, no. 1, hal. 444-459, 2017.

- [3] S. Rosalinda dan R. Sumirat, "Analisis Minyak Terpentin Hasil Penyulingan di Pabrik Gondorukem dan Terpentin Sindangwangi," *Metana : Media Komunikasi Rekayasa Proses dan Teknologi Tepat Guna*, vol. 20, no. 1, hal. 49-56, 2024.
- [4] V. T. Murakami, I. O. Marques dan R. Cella, "Ultrasound-Assisted Conversion of Biomass Turpentine Into α -Terpineol," *Chemistry Select*, vol. 4, no. 30, hal. 8800-8806, 2019.
- [5] H. A. Negreiros, K. G. de Moura dan M. L. Barreto do Nascimento, "Alpha-Terpineol as Antitumor Candidate in Pre-Clinical Studies," *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry (Formerly Current Medicinal Chemistry - Anti-Cancer Agents)*, vol. 21, no. 15, hal. 2023-2031, 2021.
- [6] T. Prakoso, I. A. Putra, L. Handoyo, T. H. Soerawidjaja, H. P. Winoto dan A. Indarto, "A Method to control terpeneol Production from Turpentine by Acid Catalyst Mixing," *Heliyon*, vol. 6, no. 10, hal. 1-7, 2020.
- [7] G. Pasaribu, T. K. Waluyo dan L. Efiyanti, "Sintesis dan Karakterisasi Borneol dari α -Pinena Getah Pinus (Pinus merkusii Jungh. & de Vriese)," *JURNAL : Penelitian Hasil Hutan*, vol. 39, no. 2, hal. 74-87, 2021.
- [8] Diana dan A. Budiman, "Asetosilasi Terpentin Indonesia Menggunakan Katalis Asam Sulfat," *Teknoin*, vol. 24, no. 1, hal. 21-28, 2018.
- [9] A. Nurmaydha, S. Wijana dan P. Deoranto, "Analisis Produktivitas Pada Bagian Produksi Gondorukem dan Terpentin Menggunakan Metode Objective Matrix (OMAX) (Studi Kasus di PGT Sukun Ponorogo Kesatuan Bisnis Mandiri Industri Non Kayu (KBM-INK) Perum Perhutani Unit II Jawa Timur)," *Agroindustrial Technology Journal*, vol. 01, no. 01, hal. 42-54, 2017.
- [10] "Perhutani Ekspor Perdana Produk Getah Pinus," Perum Perhutani, 2014. [Online]. Available: <https://www.perhutani.co.id/en/perhutani-ekspor-perdana-produk-getah-pinus/>. [Accessed 20 July 2024].
- [11] A. M. Rani, "Meningkatkan Kapasitas Produksi dengan Capacity Planning (Studi pada PT XYZ)," *Jurnal Manajemen dan Bisnis : Performa*, vol. 16, no. 1, hal. 39-49, 2019.
- [12] A. Choirunnisa dan A. Mustain, "Penentuan Kapasitas Produksi dan Seleksi Proses Pra Rancangan Pabrik Kimia Bioetanol Gel Kapasitas 5000 Ton/Tahun," *Distilat*, vol. 8, no. 1, hal. 86-93, 2022.
- [13] A. Lawi, "Optimasi Proses Kimia Pretreatment dengan Menggunakan Design of Experiment Pada Permukaan Logam Sebelum Painting," *PROFISIENSI*, vol. 5, no. 2, hal. 69-80, 2017.
- [14] E. D. Daryono, "Sintesis α -Pinene Menjadi α -Terpineol Menggunakan Katalis H₂SO₄ dengan Variasi Suhu Reaksi dan Volume Etanol," *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 4, no. 2, hal. 1-6, 2015.
- [15] T. Selfiana, Y. BP Fransisca dan H. Utami, "Pengaruh Waktu Reaksi dan Kecepatan Pengadukan Pada Sintesis α -Terpineol dari Terpentine dengan Katalis Asam Sulfat," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, hal. 1-5, 2018.

- [16] U. N. Khikmah dan H. Utami, "Studi Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi Pada Sintesis α -Terpineol Dari Terpentin Dengan Menggunakan Katalis Asam Trikloroasetat," *Inovasi Pembangunan-Jurnal Kelitbangan*, vol. 7, no. 2, hal. 211-220, 2019.
- [17] F. P. Putri dan E. N. Dewi, "Seleksi Proses dan Penentuan Kapasitas Pabrik Pada Prarancangan Pabrik Bubuk Kaldu Jamur Tiram," *Distilat*, vol. 8, no. 3, hal. 502-508, 2022.
- [18] A. R. Nahara, A. A. Mustafa dan D. R. Zuchrillah, "Pemilihan Jenis Reaktor pada Proses Mixed Acid Route di Pabrik Pupuk NPK," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 10, no. 2, hal. 250-257, 2021.
- [19] B. P. Statistik, "Data Ekspor Impor Nasional," April 2024. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/exim>. [Accessed 08 July 2024].
- [20] Y. Ramadhanti, "Peran Katalis Dalam Reaksi Kimia: Mekanisme Dan Aplikasi," *HEXATECH*, vol. 2, no. 2, hal. 74-78, 2023.
- [21] H. Utami, Sutijan, Roto dan W. B. Sediawan, "Sintesis α -Terpineol dari Terpentin dengan Katalisator Asam Kloro Asetat secara Batch," *INDUSTRI*, vol. 11, no. 1, hal. 27-31, 2012.
- [22] S. Pratigto, K. Siadi dan E. Cahyono, "Efek Perubahan Konsentrasi Pada Hidrasi Alpha-Pinena dari Terpentin dengan Katalis Asam Trikloroasetat," *Indonesian Journal of Chemical Science*, vol. 4, no. 2, hal. 111-116, 2015.
- [23] I. Y. Damanik, Z.A Nasrul dan Muhammad. , "Optimasi Aplikasi Kontrol PI pada Tekanan di Continous Stirred Tank Reactor (CSTR) menggunakan Response Surface Methodology (RSM)," *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, vol. 8, no. 2, hal. 15-32, 2019.
- [24] O. Levenspiel, *Chemical Reaction Engineering*, 3rd ed., Oregon: John Wiley & Sons, 1999.
- [25] G. R. Ersa dan H. S. Titah, "Kajian Alternatif Teknologi Desalinasi Produksi Air Tawar Desa Labuan Bajo, NTT," *Jurnal Purifikasi*, vol. 20, no. 1, hal. 1-14, 2020.