

PENENTUAN KAPASITAS PRODUKSI DAN SELEKSI PROSES PRARANCANGAN PABRIK EUGENOL DARI DAUN CENGKIH (*Syzygium aromaticum*) SEBAGAI PRODUK ANTIMIKROBA

Aldi Prayoga¹, Julia Ayu Aprodhita¹, Ahmad Maulidi¹, Gina Armida², Indira Tiara Hanifa¹, Jefri Pandu Hidayat^{1,3}

¹Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Kalimantan, Jl. Soekarno Hatta No.KM 15, Balikpapan 76127, Indonesia

²Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Kalimantan, Jl. Soekarno Hatta No.KM 15, Balikpapan 76127, Indonesia

³Pusat Unggulan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Agrotropikal Kalimantan, Jl. Soekarno Hatta No.KM 15, Balikpapan 76127, Indonesia

prayogaaldi72@gmail.com ; jefri.pandu@lecturer.itk.ac.id

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil cengkih terbesar di dunia, dengan produksi perkebunan rakyat rata-rata 135,27 ribu ton. Sebagian besar hasil cengkih dimanfaatkan dalam industri rokok, sementara limbahnya seperti daun dan ranting belum dimanfaatkan secara optimal. Faktanya, daun cengkih mengandung senyawa bioaktif utama berupa eugenol yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan digunakan secara luas dalam industri farmasi, kosmetik, pangan, dan produk kimia antara. Prarancangan pabrik kimia ini bertujuan untuk menentukan kapasitas produksi dan seleksi proses pada pendirian pabrik eugenol berbahan dasar daun cengkih. Pabrik eugenol dari daun cengkih ini direncanakan di Kawasan Industri JIPE (Java Integrated Industrial and Ports Estate), Kabupaten Gresik, Jawa Timur akan beroperasi secara kontinyu selama 330 hari selama 24 jam pada tahun 2025 dengan kapasitas produksi 8.000 ton/tahun untuk memenuhi pasar ekspor. Metode yang digunakan untuk penentuan seleksi proses adalah *grading* (penilaian). Berdasarkan hasil *grading*, dipilih proses *hydro-steam distillation* dengan total penilaian 440 bersama reaksi saponifikasi reagen NaOH dan netralisasi reagen H₂SO₄. Tahap awal persiapan sintesis eugenol dilakukan dengan memotong daun cengkih kering kecil-kecil (± 2 cm), kemudian disuling untuk diambil minyak atsirinya dengan metode *hydro-steam distillation*. Eugenol yang terkandung dalam minyak atsiri diambil melalui reaksi penyabunan dan netralisasi yang terjadi di dalam *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR). Metode pemurnian dilakukan berdasarkan perbedaan densitas dengan menggunakan dekanter. Efektivitas proses *hydro-steam distillation* ditinjau melalui aspek suhu, tekanan, waktu operasi, yield proses, dan kemurnian eugenol.

Kata kunci: daun cengkih, eugenol, *hydro-steam distillation*, kapasitas, seleksi proses

ABSTRACT

Indonesia ranks among the top global clove producers, yielding approximately 135.27 thousand tons from smallholder plantations. The majority of harvested cloves are utilized in cigarette manufacturing, while by-products like leaves and twigs remain largely unexploited. Clove leaves are rich in eugenol, a valuable bioactive compound utilized across various industries, including pharmaceuticals, cosmetics, food, and chemicals. This preliminary chemical plant design seeks to establish production capacity and process selection for an eugenol plant utilizing clove leaves. The proposed eugenol facility is to be situated in the Java Integrated Industrial and Ports Estate (JIPE), Gresik Regency, East Java. It is projected to operate year-round for 330 days, continuously

for 24 hours daily, commencing in 2025, with an annual production capacity of 8,000 tons to satisfy export needs. The process selection methodology employed is grading (evaluation). The grading outcomes favored hydro-steam distillation, attaining a total score of 440, alongside saponification with NaOH and neutralization using H_2SO_4 . Initial eugenol synthesis involves cutting dried clove leaves into small segments (± 2 cm) followed by essential oil extraction via hydro-steam distillation. Eugenol extraction from the essential oil occurs through saponification and neutralization reactions in a Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR). Purification is achieved based on density differences using a decanter. The hydro-steam distillation process's efficacy is assessed through factors such as temperature, pressure, operational time, yield, and eugenol purity.

Keywords: capacity, clove leaf, eugenol, hydro-steam distillation, process selection

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki banyak perkebunan cengkih, sehingga ketersediaan bahan baku daun cengkih melimpah. Produksi rata-rata cengkih di Indonesia sebesar 135,2 ribu ton sepanjang tahun 2021-2023 [1] dan cenderung meningkat dalam 10 tahun terakhir. Daun cengkih memiliki massa dua kali lipat daripada kuncup cengkih [2] sesuai data BPS, sehingga diprediksi rerata massa daunnya 270 ribu ton per tahun. Melimpahnya daun cengkih ini dapat menyebabkan masalah lingkungan seperti pencemaran tanah dan air, serta mengurangi daya tarik estetika di lingkungan sekitarnya [3]. Potensi daun cengkih yang belum dimanfaatkan dapat memberikan peluang untuk diversifikasi industri cengkih khususnya pabrik minyak atsiri (eugenol) dalam meningkatkan kesejahteraan ekonomi petani, dan mengurangi dampak lingkungan dari sumber daya yang tidak dikelola menjadi limbah. Daun cengkih menjadi sumber potensi pendapatan yang signifikan bagi petani dan pengolah cengkih [4].

Eugenol ($C_{10}H_{12}O_2$) adalah senyawa fenolik dari keluarga rantai benzena, berbentuk cairan kental berwarna bening hingga kuning pucat dengan berat molekul 164.20 g/mol [5]. Pada industri farmasi, eugenol menjadi bahan dasar produk obat kumur, pasta gigi, dan antiseptik cair karena sifat antimikroba dan analgesiknya. Di bidang kedokteran gigi, eugenol berperan sebagai bahan perekat yang mampu menghambat transmisi impuls saraf, sehingga efektif mengurangi rasa sakit akibat radang gigi. Melalui proses isomerisasi, eugenol dapat diubah menjadi vanili sintetis ($C_8H_8O_3$) yang dimanfaatkan sebagai pewangi dalam industri makanan dan parfum [6,7]. Sayangnya, Indonesia masih mengimpor sebagian besar kebutuhan eugenol untuk industri farmasi, wewangian, dan perasa. Hal ini disebabkan karena sekitar $\pm 90\%$ komoditas minyak cengkih Indonesia diekspor dalam bentuk mentah (*crude oil*), dan hanya sedikit yang diolah menjadi eugenol di dalam negeri.

Eugenol dapat ditemukan di berbagai tanaman seperti daun kemangi, buah pala, kulit kayu manis, dan daun salam. Namun, istilah eugenol sering dikaitkan dengan tanaman cengkih karena merupakan komponen utama dalam minyak cengkih. Salah satu metode produksi eugenol adalah melalui isolasi dengan NaOH yang kemudian dinetralkan menggunakan asam mineral. Kandungan eugenol dalam tanaman cengkih berkisar antara 78-95% tergantung bagian tanaman yang digunakan [8]. Dibandingkan dengan tangkai dan bunga cengkih, daun cengkih belum dimanfaatkan secara optimal oleh petani. Menurut SNI 06-2387-2006, kandungan minimum eugenol dalam minyak daun cengkih adalah 78% [9]. Proses pengolahan daun cengkih menjadi eugenol telah dilakukan [2] dengan metode distilasi uap air pada suhu $100^\circ C$ selama 3 jam, dan menghasilkan yield 70%. Di sisi lain, komposisi eugenol dengan metode ekstraksi menghasilkan 73-85% dari total minyak yang

didapatkan [6]. Optimasi proses ekstraksi daun cengkih dilakukan oleh [10] pada 95°C dalam waktu 2,5 jam. Potensi daun cengkih sebagai bahan baku industri tercermin pada [11], per hektar dapat menghasilkan (20-40 kg) jika semua daun dikumpulkan lalu menambah nilai ekonomi jika dimanfaatkan untuk ekstraksi minyak atsiri (eugenol). Produksi eugenol skala industri sebagai prekursor vanilin dengan proses oksidasi telah dilakukan studi kelayakannya, menunjukkan nilai ekonomi yang cukup menguntungkan [12]. Berdasarkan uraian di atas, rumusan kelayakan industri eugenol dari daun cengkih melalui *hydro-steam distillation* perlu dikaji lebih lanjut.

Lokasi pabrik pendirian yang ideal adalah di Provinsi Jawa Timur, dekat dengan sumber bahan baku, di mana terdapat perkebunan cengkih seluas ± 43.136 hektar [13]. Potensi daun cengkih gugur diperkirakan mencapai 112.153,6 ton/tahun, dan dengan rendemen minyak $\pm 2\%$, dapat menghasilkan 2.243,072 ton minyak daun cengkih per tahun [14]. Kabupaten Gresik, khususnya kawasan industri terpadu JIPE, merupakan lokasi yang strategis untuk pabrik. Selain memudahkan transportasi bahan baku, JIPE juga menyediakan fasilitas utilitas, pengolahan limbah terpadu, dan kemudahan distribusi produk ke pasar internasional melalui pelabuhan khusus.

Prarancangan pabrik bertujuan untuk menentukan kapasitas produksi dan jenis proses sintesis eugenol dari daun cengkih yang paling optimal. Penentuan tersebut merupakan hal penting dikarenakan volume produksi secara kontinu dapat memengaruhi hasil analisis sensitivitas kelayakan ekonomi pendirian pabrik di masa mendatang.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Persiapan Bahan Baku

Ada beberapa metode untuk menyiapkan bahan baku daun cengkih menjadi minyak atsiri, yaitu ekstraksi dan distilasi (penyulingan). Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangannya sendiri.

Tabel 1. Perbandingan metode pemisahan minyak daun cengkih

Parameter	Metode Pemisahan	
	Ekstraksi	Distilasi
Proses	Pada proses leaching (ekstraksi padat-cair) terjadi difusi minyak dari dalam daun cengkih ke fasa cair yaitu pelarut	Pemisahan minyak dari daun cengkih terjadi karena adanya perbedaan sifat volatilitas (kecenderungan suatu senyawa berubah fasa dari cair ke gas)
<i>Solvent</i>	Pelarut Organik	Air, Uap
Tekanan (atm)	1	1
Temperatur (°C)	30 - 50	98,3 - 110
Rendemen (%)	60 - 180	150 - 360
Eugenol (%)	79	73,78 - 81,88

Sumber: [14–16]

Berdasarkan perbandingan dari kedua metode di atas, metode distilasi dipilih daripada ekstraksi untuk menghasilkan minyak cengkih karena beberapa alasan. Distilasi menghasilkan konsentrasi eugenol yang lebih tinggi dalam minyak cengkih, mencapai

81,88%, dibandingkan dengan metode ekstraksi. Keuntungan lain dari distilasi adalah penggunaan air atau uap sebagai pelarut, yang lebih murah daripada pelarut organik yang digunakan dalam ekstraksi. Ada beberapa jenis metode distilasi yang dapat digunakan, antara lain distilasi uap (*steam distillation*), distilasi air (*hydro distillation*), dan distilasi uap air (*hydro-steam distillation*).

Tabel 2. Perbandingan metode distilasi minyak daun cengkih

Parameter	Jenis Distilasi			
	<i>Hydro Distillation</i>	<i>Steam Distillation</i>	<i>Hydro-Steam Distillation</i>	<i>Hydro-Steam Distillation Modified</i>
Proses	Daun cengkih yang disuling dikontak langsung dengan air mendidih	Daun cengkih diletakkan pada rak berlubang di dalam ketel lalu dikontak dengan uap kering	Daun cengkih diletakkan pada rak berlubang di dalam ketel lalu dikontak dengan uap jenuh	Pengambilan minyak daun cengkih dengan pemanfaatan daya gelombang mikro (<i>microwave</i>) sebagai sumber panas
Tekanan (atm)	1	1	1	1
Temperatur (°C)	110	108	98,3	-
Waktu Operasi (menit)	180	360	150-360	150
Rendemen (%)	2,83	1,87	5,60	3,44
Eugenol (%)	79,31	73,78	81,88	79,21

Sumber:[16–18]

Metode *hydro-steam distillation* dipilih karena menghasilkan rendemen minyak yang lebih banyak. Hal ini disebabkan uap yang dihasilkan dapat menembus jaringan daun cengkih secara merata. Umumnya, senyawa minyak atsiri tidak stabil pada suhu tinggi. Oleh karena itu, untuk mendapatkan minyak berkualitas tinggi, proses distilasi diusahakan berlangsung pada suhu rendah. Pada metode *hydro-steam distillation*, daun cengkih tidak bersentuhan langsung dengan air, melainkan hanya dengan uap air yang dihasilkan dari pendidihan di dasar ketel penyulingan [16]. Uap yang digunakan dalam metode ini selalu dalam kondisi basah, jenuh, dan tidak terlalu panas [14]. Tambahan uap meningkatkan kontrol kontak antara air dan bahan baku, sehingga penguapan minyak lebih maksimal dan menghasilkan rendemen minyak yang lebih tinggi [19,20].

Metode *hydro-steam distillation* dapat dimodifikasi dengan bantuan gelombang mikro (*microwave-assisted extraction*) sebagai sumber panas. Metode ini dianggap ramah lingkungan dan dapat menghasilkan minyak atsiri lebih cepat dibandingkan *hydro-steam distillation* konvensional [6]. Di samping itu, *microwave-assisted extraction* membutuhkan energi yang cukup besar (2.340 kJ per *batch*), sehingga kurang efisien untuk skala industri. Oleh karena itu, *hydro-steam distillation* konvensional lebih tepat digunakan pada skala industri untuk memperoleh minyak atsiri daun cengkih.

2.2. Isolasi dan Pemurnian

Minyak cengkih terdiri dari berbagai senyawa, dengan eugenol dan *caryophyllene* sebagai senyawa utama. Kualitas minyak cengkih ditentukan oleh kandungan eugenolnya [21]. Minyak daun cengkih hasil distilasi umumnya mengandung eugenol 70-80%, sedangkan standar industri membutuhkan kadar eugenol minimal 90% [22]. Oleh karena

itu, diperlukan upaya lebih lanjut untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas eugenol dalam minyak daun cengkih.

Isolasi adalah proses pemurnian suatu komponen tertentu dari ekstrak untuk mendapatkan senyawa murni [23,24]. Isolasi dengan reaksi kimia dilakukan pada suhu dan tekanan ruang 1 atm, sehingga tidak membutuhkan energi besar. Metode ini sering digunakan sebagai langkah awal untuk memisahkan eugenol dari minyak cengkih, meskipun hasilnya belum sepenuhnya murni. Metode saponifikasi dapat digunakan untuk memisahkan komponen utama minyak daun cengkih. Dalam metode ini, penambahan larutan natrium hidroksida (NaOH) ke dalam minyak daun cengkih akan menyebabkan eugenol bereaksi membentuk natrium eugenolat yang larut dalam air, sementara komponen lain tidak larut. Hal ini menghasilkan dua lapisan cairan yang mudah dipisahkan. Lapisan bawah, yaitu larutan natrium eugenolat, kemudian dipisahkan dan *direcovery* dengan senyawa asam [25].

Berdasarkan standar United States Pharmacopeia, eugenol yang diperdagangkan secara internasional harus memiliki kemurnian minimal 99,5%. Pemurnian dilakukan dengan memanfaatkan perbedaan polaritas dan massa jenis menggunakan dekanter. Dengan demikian, eugenol yang dihasilkan memenuhi standar USP, yaitu tidak berwarna, beraroma khas cengkih, dan memiliki kemurnian minimal 99,5% [26].

2.3. Jenis Sintesis Reaktan

Reaksi saponifikasi membutuhkan larutan basa kuat untuk mengubah eugenol (senyawa fenol) menjadi fenolat. Selanjutnya, larutan asam kuat diperlukan untuk tahap netralisasi dan pemisahan eugenol dari komponen non-eugenol [27]. Pemilihan reaktan yang tepat diharapkan dapat menghasilkan eugenol berkonsentrasi tinggi dari minyak daun cengkih dengan biaya yang ekonomis.

Tabel 3. Perbandingan jenis reaktan dalam reaksi saponifikasi dan netralisasi

Reaksi	Reaktan	Eugenol (%)	Harga (USD/Ton)
Saponifikasi	NaOH	99,65	159,40
	KOH	91,7	1033,29
Netralisasi	HNO ₃	99	372,28
	H ₂ SO ₄	98	99,38

Sumber : [5,21,27]

Eugenol dapat diisolasi dari minyak cengkih dengan menambahkan natrium hidroksida atau kalium hidroksida yang menghasilkan natrium atau kalium eugenolat [28]. KOH menghasilkan konsentrasi eugenol yang lebih tinggi karena lebih cepat larut dan bereaksi dengan asam dibandingkan NaOH [27]. Namun, NaOH lebih ekonomis dan mudah didapat, sehingga menjadi pilihan dalam penelitian ini. Reaksi kimianya melibatkan substitusi ion H⁺ dari gugus hidroksil (-OH) eugenol oleh ion Na⁺ dari NaOH, membentuk Na-eugenolat [15] yang lebih mudah larut dalam air.

Kemudian Na-eugenolat di-*recovery* dengan larutan asam. Pemilihan reaktan antara H₂SO₄ dan HNO₃ memiliki konsentrasi yang berbeda-beda antar asam kuat, hal ini disebabkan perbedaan valensi yang dimiliki antara asam kuat tersebut yang bersifat monoprotik yaitu melepas satu ion H⁺ pada HNO₃ dan diprotik yaitu melepas dua ion H⁺ pada H₂SO₄ [6]. Berdasarkan penelitian terdahulu, konsentrasi eugenol lebih tinggi

ketika menggunakan H_2SO_4 dan harganya yang juga lebih ekonomis dibandingkan dengan HNO_3 maka dalam proses ini memilih menggunakan reaktan H_2SO_4 untuk *recovery* Na-eugenolat menjadi eugenol.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penentuan Kapasitas Produksi

Menentukan kapasitas produksi adalah langkah penting dalam membangun industri. Hal ini bertujuan agar kapasitas produksi sesuai dengan kebutuhan pasar dan mencegah kerugian. Data ekspor eugenol Indonesia menunjukkan peningkatan yang fluktuatif setiap tahunnya.

1. Mencari Data Ekspor - Impor Eugenol di Indonesia

Berdasarkan Trademap pada tahun 2022 [29], dapat diketahui pada tahun 2016-2020 ekspor eugenol meningkat fluktuatif yang berkisar antara 908-2.564 ton/tahunnya. Hal ini berbanding terbalik dengan data impor yang hanya berkisar antara 295-401 ton/tahunnya.

2. Menghitung Rata Rata Pertumbuhan

Dari data yang ada dapat dihitung rata rata pertumbuhan dengan mengasumsikan nilai m adalah ekspor/impor. (i) adalah pertumbuhan rata rata per tahun, dan (a) adalah selisih tahun.

$$m_{2025} = m_{2020} \times (1 + i)^n \quad (1)$$

Sehingga didapat rata-rata persen pertumbuhan impor adalah 0,06 atau 6% per tahun dan persen pertumbuhan ekspor adalah 0,35 atau 35% per tahunnya.

3. Menghitung Kapasitas Produksi Pabrik Eugenol

Setelah dilakukan perhitungan persen pertumbuhan ekspor pada tahun 2016-2020 dapat diketahui bahwa produksi eugenol di Indonesia akan lebih mengarah ke penjualan internasional dengan persen pertumbuhan 35%, dibandingkan dengan konsumsi dalam negeri yang hanya 6%. Oleh karena itu digunakan persamaan berikut untuk menentukan jumlah produksi eugenol:

$$m_{2025} = (m_k + m_e) - (m_p + m_i) \quad (2)$$

Berdasarkan perhitungan kapasitas produksi tersebut, pabrik eugenol dari cengkih di Indonesia tahun 2025 sebesar 8.000 ton/tahun untuk memenuhi pasar ekspor.

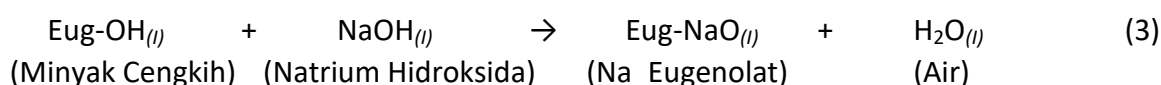
3.2. Seleksi Proses

Kualitas dan kuantitas minyak daun cengkih dipengaruhi oleh proses pengolahan bahan baku. Perlakuan yang kurang tepat sebelum proses pemisahan dapat menurunkan kualitas minyak atsiri. Tahap persiapan daun cengkih dilakukan dengan pencacahan untuk mempermudah penguapan minyak atsiri dari ruang antar sel dalam jaringan daun [16].

Daun cengkih yang sudah dicacah dimasukkan ke dalam ketel distilasi. Pengisian bahan harus diatur agar uap terdistribusi merata [30]. Suhu uap diatur pada 100°C dan tekanan 1 atm. Penyulingan dengan tekanan uap rendah menghasilkan minyak berkualitas baik. Campuran minyak dan air hasil distilasi dipisahkan berdasarkan perbedaan polaritas dan massa jenis bahan. Minyak memiliki massa jenis lebih rendah daripada air, sehingga minyak berada di atas air. Terdapat dua metode isolasi eugenol dari minyak daun cengkih, yang terdiri dari:

a. Saponifikasi

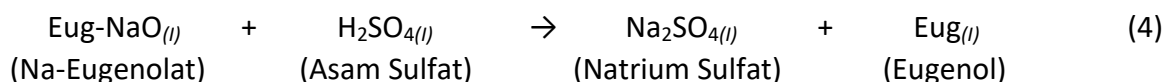
Eugenol sebagai fenol direaksikan dengan natrium hidroksida (NaOH) membentuk garam natrium eugenolat yang larut dalam air [21]. Berikut adalah proses reaksi pembentukan eugenol :



Setelah reaksi berlangsung, akan terbentuk dua lapisan. Minyak daun cengkih yang awalnya berwarna coklat kehitaman, setelah ditambahkan larutan alkali natrium hidroksida (NaOH), akan bereaksi membentuk lapisan *aqueous* berwarna kuning keruh di bagian bawah dan lapisan organik (terpene) di bagian atas.

b. Netralisasi

Setelah proses saponifikasi selesai dilanjutkan oleh proses netralisasi menggunakan asam sulfat (H₂SO₄) 98% dengan proses reaksi sebagai berikut :



Penambahan H₂SO₄ bertujuan untuk membentuk eugenol kembali, yaitu dengan mensubstitusi ion natrium (Na⁺) dari Na-eugenolat dengan ion H⁺ pada gugus hidroksil (OH) dari eugenol, sehingga terbentuklah eugenol kembali [31]. Na-eugenolat bereaksi menjadi eugenol dan garam Na₂SO₄ terbentuk. Eugenol berada di lapisan atas dan garam Na₂SO₄ di lapisan bawah, selanjutnya dilakukan pemisahan antara kedua lapisan berdasarkan perbedaan polaritas dan massa jenis menggunakan alat dekanter. Proses pemisahan menggunakan dekanter diusahakan pada temperatur rendah karena pada temperatur yang tinggi densitas akan semakin kecil dan kelarutan akan semakin tinggi, sehingga campuran sulit dipisahkan.

c. Pemilihan Sintesis Proses dan Sistem Pemisahan Eugenol

Berdasarkan dua proses yang dijabarkan saat sintesis eugenol, dipilih menggunakan reaksi saponifikasi dengan NaOH dan netralisasi dengan H₂SO₄. Kedua hal tersebut secara umum menguntungkan dari segi efisiensi pemisahan. Penggunaan NaOH memiliki nilai konversi sebesar 99,65% dengan harga bahan baku yang lebih ekonomis. Begitu pula dengan reaksi netralisasi menggunakan H₂SO₄, dengan nilai konversi 98% dan harga bahan 99,38 \$/ton. Pada reaksi netralisasi, jika dibandingkan dengan HNO₃ yang memiliki nilai konversi lebih tinggi 1%, namun secara ekonomi kurang layak karena harganya 4 kali lipat lebih mahal dibandingkan reagen H₂SO₄.

Tabel 4. Penilaian pemilihan seleksi proses pada sistem pemisahan eugenol

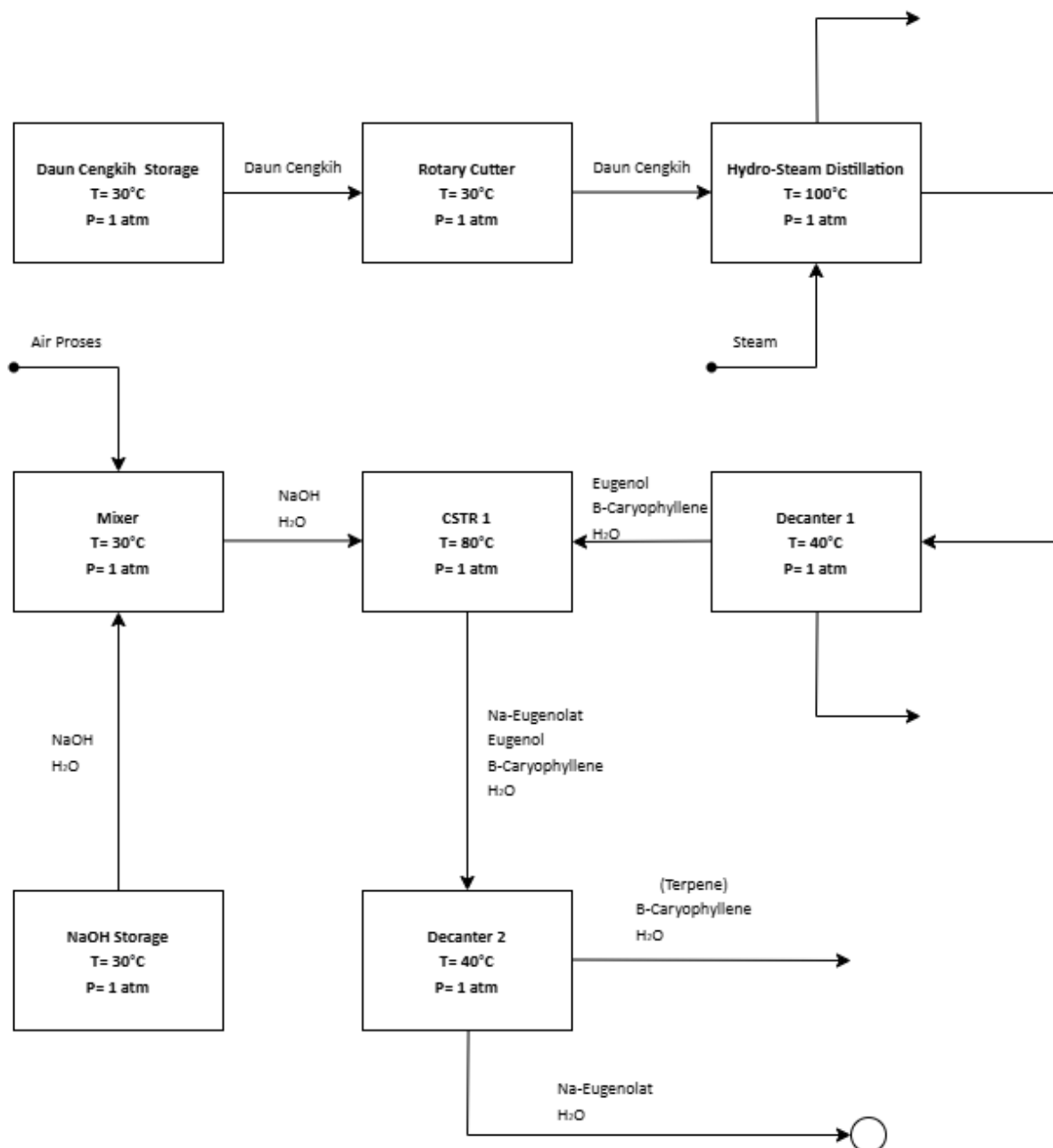
Paramater	Grade Sistem Pemisahan			
	<i>Hydro Distillation</i>	<i>Steam Distillation</i>	<i>Hydro-Steam Distillation</i>	<i>Hydro-Steam Distillation Modified</i>
Tekanan	90	90	90	90
Temperatur	70	70	80	90
Waktu Operasi	70	70	90	90
Rendemen	70	60	90	80
Eugenol	80	70	90	80
Total	380	360	440	430

Keterangan:

- 0-20 = sangat kurang
 21-40 = kurang
 41-60 = cukup
 61-80 = baik
 81-100 = sangat baik

Dari segi proses pemisahan, dipilih *hydro-steam distillation* dengan total penilaian 440. Pemilihan ini dapat dijustifikasi secara teori teknik kimia, khususnya dalam bidang proses pemisahan dan kinetika perpindahan massa-panas. Metode *hydro-steam distillation* mengombinasikan kontak langsung antara air dan daun cengkih dengan pembawaan uap panas seperti pada *steam distillation*. Kombinasi ini mempercepat proses volatilitas senyawa eugenol karena air membantu menghantarkan panas secara konveksi langsung ke permukaan daun dan uap membawa eugenol secara cepat ke kondensor tanpa degradasi termal yang signifikan [32,33]. Terbukti pada *hydro-steam distillation* memakai suhu di bawah titik didih air yaitu 98,3°C. Metode *hydro-steam distillation modified* dilakukan tanpa ada pemanasan secara konveksi, namun investasi alat *microwave* atau gelombang sonikasi terhadap industri kurang layak diterapkan karena membutuhkan energi listrik yang sangat besar [34]. Dari segi waktu dapat ditekan selama 150 menit dan paling singkat jika dibandingkan dengan metode yang lain. Hal ini dikarenakan kontak antara fase cair dan uap berlangsung lebih cepat yang dibantu oleh air sebagai pelarut organik. Dibandingkan *hydro distillation*, metode ini mengurangi kontak langsung daun dengan air mendidih, sehingga risiko hidrolisis atau degradasi termal eugenol lebih rendah [12]. Proses ini cocok untuk senyawa fenolik seperti eugenol yang cukup sensitif terhadap panas berlebih [35]. *Hydro-steam distillation* memiliki konfigurasi yang lebih fleksibel dalam skala industri, baik secara batch maupun semi-kontinu [36].

Berikut blok diagram alir hasil analisis kelayakan proses yang paling optimal dalam prarancangan pabrik eugenol dari daun cengkih:



Gambar 2. Diagram blok alir pabrik eugenol kapasitas 8.000 ton/tahun

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kapasitas produksi pabrik eugenol dari daun cengkih yang akan didirikan pada tahun 2025 ini sebesar 8.000 ton/tahun. Pabrik ini akan dioperasikan secara kontinyu 24 jam/hari selama 330 hari dengan lama waktu konstruksi selama 2 tahun untuk memenuhi kebutuhan ekspor. Hasil grading dengan total 440 menunjukkan bahwa proses penyulingan daun cengkih menjadi minyak atsiri menggunakan proses *hydro-steam distillation*. Selanjutnya untuk isolasi eugenol secara ekonomis, dipilih metode saponifikasi NaOH dengan nilai konversi 99,65% dan netralisasi menggunakan larutan H_2SO_4 98% dengan nilai konversi 98%.

Saran prarancangan pabrik eugenol selanjutnya yaitu melakukan perhitungan dalam menentukan kapasitas produksi dengan jangka waktu yang lebih panjang melalui metode prediksi yang berbeda. Hal ini berfungsi untuk mendapatkan jumlah kebutuhan konsumsi

masyarakat Indonesia, sehingga pasar pabrik eugenol tidak sepenuhnya untuk kebutuhan ekspor. Memodifikasi proses isolasi eugenol dalam minyak cengkih dengan metode *hybird distillation-extraction*.

REFERENSI

- [1] Badan Pusat Statistik, "Produksi perkebunan rakyat menurut jenis tanaman (ribu ton)," Jakarta, 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NzY4IzI=/produksi-perkebunan-rakyat-menurut-jenis-tanaman--ribu-ton-.html>
- [2] C. H. Nirwana dan W. Zamrud, "Studi literatur karakteristik minyak cengkeh (clove oil) dari beberapa metode distilasi," *DISTILAT Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, hal. 561–569, 2023.
- [3] E. Kembauw, A. S. Mahulette, A. P. Kakisina, M. T. F. Tuhumury, M. C. B. Umanailo, dan M. G. I. Kembauw, "Clove processing as a source of increasing business income in Ambon City," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 883, no. 1, hal. 1–7, 2021.
- [4] L. T. Hastuti, E. Saepudin, A. H. Cahyana, D. U. C. Rahayu, V. W. Murni, dan J. Haib, "The influence of sun drying process and prolonged storage on composition of essential oil from clove buds (*Syzygium aromaticum*)," *AIP Conference Proceedings*, vol. 1862, hal. 030092, 2017.
- [5] H. W. Haryani, N. Hidayat, dan N. L. Rahmah, "Eugenol purification from clove leaf oil with monoprotic acids reactants. the study of type and concentration of the acid reactants," *Jurnal Industria*, vol. 3, no. 2, hal. 83–92, 2016.
- [6] A. A. Khalil, U. U. Rahman, M. R. Khan, A. Sahar, T. Mehmood, dan M. Khan, "Essential oil eugenol: sources, extraction techniques and nutraceutical perspectives," *RSC Advances*, vol. 7, no. 52, hal. 32669–32681, 2017.
- [7] Y. B. Pramono, S. B. M. Abduh, J. P. Hidayat, dan C. Gunawan, *Food Quality Defines Your Own Quality*. Balikpapan: ITK PRESS, 2023.
- [8] S. Hadi, "Pengambilan minyak atsiri bunga cengkeh (clove oil) menggunakan pelarut n-heksana dan benzena," *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, vol. 1, no. 2, hal. 25–30, 2012.
- [9] Badan Standardisasi Nasional, "Standar Nasional Indonesia Minyak Daun Cengkih SNI 06-2387-2006," Jakarta, 2019.
- [10] R. Liñán-Atero, F. Aghababaei, S. R. García, Z. Hasiri, D. Ziogkas, A. Moreno, dan M. Hadidi, "Clove essential oil: chemical profile, biological activities, encapsulation strategies, and food applications," *Antioxidants*, vol. 13, no. 488, hal. 1–38, 2024.
- [11] P. Sasongko, W. Washington, dan K. Ahmadi, "Business potential of clove leave essential oil production in South Sipora District Mentawai Island Regency," *Journal Food Technology Agroindustry*, vol. 4, no. 2, hal. 100–115, 2022.
- [12] D. Triana, M. A. Tafdilla, L. D. Antika, dan T. Ernawati, "Conversion eugenol to vanilin: evaluation of antimicrobial activity," in *International Summit on Science Technology and Humanity (ISETH)*, 2019, hal. 594–602.
- [13] Kementerian Pertanian, *Outlook komoditas perkebunan cengkeh*. 2022.
- [14] Jayanudin, "Komposisi kimia minyak atsiri daun cengkeh dari proses penyulingan uap," *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, vol. 10, no. 1, hal. 37–42, 2011.
- [15] T. Bangkit PS, R. Sirait, dan Iriany, "Penentuan kondisi keseimbangan unit leaching

- pada produksi eugenol dari daun cengkeh,” *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 1, no. 1, hal. 10–14, 2012.
- [16] F. M. Aryawati dan Nyuwito, “Pengaruh perlakuan bahan dan massa daun cengkeh terhadap rendemen dan kualitas minyak dengan metode air dan uap,” in *Prosiding Seminar Nasional “Menuju Masyarakat Madani dan Lestari,”* Yogyakarta, 2017, hal. 142–155.
- [17] W. Habibi, A. Z. Haq, P. Prihatini, dan Mahfud, “Perbandingan metode steam distillation dan steam-hydro distillation dengan microwave terhadap jumlah rendemen serta mutu minyak,” *Jurnal Teknik Pomits*, vol. 2, no. 2, hal. 234–238, 2013.
- [18] F. A. Listyoarti, L. L. Nilatari, P. Prihatini, dan Mahfud, “Perbandingan antara metode hydro-distillation dan steam-hydro distillation dengan pemanfaatan microwave terhadap jumlah rendemen serta mutu minyak daun cengkeh,” *Jurnal Teknik Pomits*, vol. 2, no. 1, hal. 39–43, 2013.
- [19] J. P. Hidayat, N. Sholihah, A. Maulidi, A. A. Putri, dan A. C. Kumoro, “Degradation β -Carotene Model of Degummed Red Palm Oil (DRPO) by RSM-Optimizing Condition,” *Materials Science Forum*, vol. 1140, hal. 133–134, 2024.
- [20] J. P. Hidayat, R. Lestari, S. Munfarida, A. A. Putri, A. P. Putra, F. Chosta, dan A. Maulidi, “Optimasi proses degumming minyak sawit mentah (DRPO) dengan response surface methodology (RSM) berbasis central composite design (CCD),” *Agrointek*, vol. 19, no. 2, hal. 356–368, 2025.
- [21] A. Nurdin, “Eugenol production from clove oil in pilot plant scale for small and medium enterprises (SME),” in *Scitepress*, hal. 101–105, 2019.
- [22] R. S. Bendre, J. D. Rajput, S. D. Bagul, dan P. S. Karandikar, “Outlooks on medicinal properties of eugenol and its synthetic derivatives,” *Natural Products Chemistry & Research*, vol. 4, no. 3, hal. 1–7, 2016.
- [23] A. C. Kumoro, S. Mariana, T. H. Maurice, dan J. P. Hidayat, “Pectin Derived from Hydrolysis of Ripe Kepok Kuning Banana Peel Powder Employing Crude Pectinases Produced by *Aspergillus niger*,” *Sains Malaysiana*, vol. 51, no. 7, hal. 2047–2059, 2022.
- [24] A. C. Kumoro, S. Mariana, T. H. Maurice, J. P. Hidayat, R. Ratnawati, dan D. S. Retnowati, “Extraction of pectin from banana (*Musa acuminata* x *balbisiana*) peel waste flour using crude enzymes secreted by *Aspergillus niger*,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing Ltd, hal. 1–7, 2020.
- [25] M. H. Lutfi, J. N. Wisnu, dan A. Purbasari, “Peningkatan kadar eugenol pada minyak atsiri cengkeh dengan metode saponifikasi-distilasi,” *Teknologi Kimia dan Industri*, vol. 2, no. 2, hal. 198–203, 2013.
- [26] M. R. Charan Raja, V. Srinivasan, S. Selvaraj, dan S. K. Mahapatra, “Versatile and synergistic potential of eugenol: a review,” *Pharmaceutica analytica acta*, vol. 6, no. 5, hal. 1–6, 2015.
- [27] R. L. Putri, N. Hidayat, dan N. L. Rahmah, “Pemurnian Eugenol Dari Minyak Daun Cengkeh Dengan Reaktan Basa Kuat KOH Dan Ba(OH)₂ (Kajian Konsentrasi Reaktan),” *Industria: Journal of Technology and Management of Agroindustry*, vol. 3, no. 1, hal. 1–12, 2014.

- [28] N. M. Sari, F. Elsanía, dan Muyassaroh, "Eugenol of clove leaf using microwave steam-hydro distillation with material treatment and power operation variation," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 14, no. 2, hal. 51–57, 2020.
- [29] Badan Pusat Statistik, "Fruit Crop Production in Indonesia 2021," 2022.
- [30] J. P. Hidayat, S. Munfarida, dan A. Hariyadi, "Fermentasi biji durian khas Kalimantan sebagai pengganti tepung terigu dengan metode perendaman berseri," *Agrointek*, vol. 19, no. 1, hal. 164–177, 2025.
- [31] M. Malahayati dan Rahmawati, "Optimasi tekanan dan rasio refluks pada distilasi fraksinasi vakum terhadap mutu eugenol dari minyak daun cengkeh (*Eugenia caryophyllata*)," *Konversi*, vol. 3, no. 2, hal. 7–17, 2014.
- [32] E. Lainez-Cerón, M. T. Jiménez-Munguía, A. López-Malo, dan N. Ramírez-Corona, "Effect of process variables on heating profiles and extraction mechanisms during hydrodistillation of eucalyptus essential oil," *Heliyon*, vol. 7, hal. e08234, 2021.
- [33] A. C. Kumoro dan J. P. Hidayat, "Functional and thermal properties of flour obtained from submerged fermentation of durian (*Durio Zibethinus* Murr.) seed chips using *Lactobacillus plantarum*," *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, vol. 12, no. 1, hal. 607–614, 2018.
- [34] J. C. Naidoo, P. Moodley, I. A. Sanusi, Y. Sewsynker-Sukai, E. L. Meyer, dan E. Gueguim Kana, "Microwave-assisted sequential green liquor-inorganic salt pretreatment for enhanced sugar recovery from sorghum leaves towards bioethanol and biohydrogen production," *Renewable Energy*, vol. 225, hal. 120225, 2024.
- [35] R. K. Gaikwad, I. H. Mondal, K. K. Dash, A. M. Shaikh, dan K. Béla, "Effectiveness of sustainable oil extraction techniques: A comprehensive review," *Journal of Agriculture and Food Research.*, vol. 19, hal. 101546, 2025.
- [36] X. Ge, R. Zhang, P. Liu, B. Liu, dan B. Liu, "Optimization and control of extractive distillation for formic acid-water separation with maximum-boiling azeotrope," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 169, no. 30, hal. 108075, 2023.