

Desain Pabrik Minyak Atsiri dari Daun Nilam Menggunakan Metode Ekstraksi Karbon Dioksida Superkritis

Ajeng Almira Tarisha Asri, Pramudya Riandana Bhayu Gautama, Siti Machmudah, dan Sugeng Winardi
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: swinardi@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—Minyak atsiri menjadi salah satu komoditas di Indonesia dan secara umum digunakan sebagai bahan pengikat (fiksatif) dalam pembuatan parfum, pewangi, kosmetika, farmasi, bahan penyedap (*flavoring agent*) dalam industri makanan dan minuman. Salah satu contoh minyak atsiri ialah minyak nilam dimana Indonesia menjadi produsen utama minyak nilam dunia dan menguasai 95% pasar. Komponen kimia utama yang menjadi primadona dunia dari minyak nilam adalah *Patchouli alcohol* dengan kadar dari Standar Nasional Indonesia (SNI) minimal 30%. Setelah melakukan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP), proses pembuatan pabrik minyak nilam yang cocok dan memenuhi parameter yang diinginkan adalah metode ekstraksi karbon dioksida superkritis. Pembuatan pabrik minyak nilam ini direncanakan mulai dibangun pada tahun 2023 di Kecamatan Kinali, Kabupaten Pasaman Barat, Sumatera Barat dan direncanakan beroperasi pada tahun 2026 dengan kapasitas total 98,64 ton/tahun. Modal diperoleh dengan perbandingan 40% modal sendiri dan 60% modal pinjaman. Studi evaluasi ekonomi pabrik menunjukkan bahwa pabrik ini memiliki biaya penaksiran modal (CAPEX) sebesar Rp245.783.550.136,33 dan biaya operasional (OPEX) sebesar Rp248.446.730.157,46. Analisis perhitungan ekonomi pabrik juga didapatkan hasil-hasil sebagai berikut; total modal investasi sebesar Rp223.373.453.208 per tahun; dan hasil penjualan pertahun sebesar Rp315.654.826.667 per tahun. Estimasi umur pabrik dan waktu pengembalian pinjaman selama 10 tahun menghasilkan *Break event point* (BEP) sebesar 35,29%, *Internal rate of return* (IRR) sebesar 23,44 %, dan *Payout time* (POT) selama 5 tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa pabrik layak untuk didirikan. Aspek sosial membantu peningkatan kesejahteraan dengan mengurangi jumlah pengangguran daerah dan membantu 897 petani. Adapun penanganan dampak lingkungan pabrik dilakukan dengan mengolah limbah padat berupa ampas daun nilam yang diproses menjadi pupuk dan limbah cair berupa *process water*, *cooling water*, dan *steam condensate* yang diolah dengan menaati peraturan yang berlaku.

Kata Kunci—Minyak Nilam, Ekstraksi Superkritis, Karbon Dioksida.

I. PENDAHULUAN

MINYAK atsiri menjadi salah satu komoditas di Indonesia yang beraneka ragam, sangat bermanfaat, dan digunakan di berbagai bidang industri. Minyak atsiri adalah zat berbau yang terkandung dalam tanaman dan dapat bersumber pada setiap bagian tanaman, yakni daun, bunga, buah, biji, batang, kulit, dan akar. Minyak ini disebut juga minyak menguap, minyak eteris, minyak esensial karena pada suhu kamar mudah menguap. Istilah esensial dipakai karena minyak atsiri mewakili bau dari tanaman asalnya.

Ekspor minyak atsiri di Indonesia pada tahun 2022 menunjukkan pendapatan dari minyak nilam (*patchouli oil*) sekitar 47,22% disusul dengan minyak cengkeh (*cloves oil*)



Gambar 1. Peta sebaran produksi minyak nilam di Indonesia tahun 2018.

sekitar 13,33%, dan minyak serai wangi (*citronella oil*) pada urutan ketiga sekitar 6,72% [1].

Minyak nilam diproduksi melalui proses distilasi daun nilam. Minyak ini dalam dunia perdagangan biasa disebut dengan *patchouli oil*. Minyak nilam ini memiliki fungsi utama sebagai bahan baku pengikat (fiksatif) dari minyak atsiri yang lain. Hal ini dikarenakan sifatnya yang sukar menguap dibandingkan dengan minyak atsiri lain, sukar tercuci, dapat larut dalam alkohol, dan dapat bercampur dengan minyak eteris lainnya. Sifat-sifat tersebut disebabkan oleh minyak nilam yang memiliki kandungan utama berupa *Patchouli alcohol* ($C_{15}H_{26}O$). *Patchouli alcohol* dengan berat molekul 222,37 g/mol yang memiliki titik didih tinggi yaitu sebesar 280,23°C mengakibatkan minyak nilam cenderung lebih sukar menguap sehingga apabila dicampurkan dengan minyak atsiri lain akan meningkatkan titik didih campurannya [2]. Oleh sebab itu, industri parfum menggunakan minyak nilam sebagai pengikat wewangian supaya aroma parfum lebih bertahan lama [3].

Berdasarkan laporan *Future Insight Markets* (2023), pasar minyak nilam mendapatkan total pendapatan US \$73,11 juta. Industri ini diproyeksikan akan berkembang pada pertumbuhan laju majemuk atau CAGR (*Compound Annual Growing Rate*) sebesar 3%. Pendapatan secara global diprediksi mencapai US \$101,4 juta pada 2033.

Dengan meningkatnya permintaan ekspor ke beberapa negara diantaranya Singapura, Amerika Serikat, Spanyol, Perancis, Switzerland, Inggris, dan negara lainnya, Indonesia menjadi produsen utama minyak nilam dunia dan menguasai 95% pasar dunia. Minyak nilam dengan jumlah volume 1.200-1.500 menguasai 85% ekspor minyak atsiri Indonesia (Kementerian Pertanian Direktorat Jenderal Perkebunan, 2020). Destinasi ekspor utama pada 2022 adalah India dengan valuasi US\$ 13,64 juta, kemudian Spanyol pada US\$ 9,12 juta, disusul Prancis dengan US\$ 7,76 juta, kemudian Singapura pada US\$ 7,26 juta, dan China sebesar US\$ 4,5 juta [1].

Dari berbagai macam jenis nilam yang ada di Indonesia, nilam aceh (*Pogostemon cablin* Benth) memiliki kadar minyak yang relatif tinggi dan kualitas yang baik dengan kadar *Patchouli alcohol* lebih dari 30% sehingga

Tabel 1.
Perbandingan Seleksi Proses Pembuatan Minyak Atsiri dari Daun Nilam

Parameter	Distilasi Air	Distilasi Uap	Ekstraksi Karbon Dioksida Superkritis
Proses Pelarut	Air	Uap air	Karbon dioksida superkritis
Pemisahan produk dari pelarut	Produk belum terpisah dari pelarut air sehingga perlu proses pemurnian dengan garam anhidrat	Produk belum terpisah dari pelarut uap air sehingga perlu proses pemurnian dengan garam anhidrat	Produk telah terpisah dari pelarut karbon dioksida karena pada kondisi ruangan, karbon dioksida berubah wujud menjadi gas
Yield (%)	0,5–1,5%	1,5%	1–3,05%
Kadar <i>Patchouli alcohol</i> (%)	43,36%	19,4–22,36%	65,51%
Kondisi Operasi			
Tekanan (atm)	1	1	80–200
Temperatur (°C)	100	100	40–80
Waktu Operasi (menit)	720	720	120
Ekonomi			
Biaya Operasi tiap Gram Minyak yang Dihasilkan Lingkungan	Rp365.987	±Rp365.987	Rp186.816
Limbah	Air pelarut bekas distilasi (tidak berbahaya)	Air pelarut bekas distilasi (tidak berbahaya)	Gas karbon dioksida pelarut bekas ekstraksi (tidak berbahaya)

Tabel 2.
Data Laju Pertumbuhan Minyak Nilam

Parameter	Data Tahun 2020 (ton)	Perkembangan Rata-Rata (%)	Data Proyeksi Tahun 2026 (ton)
Konsumsi	2482,13	5,01	3328,75
Produksi	2090,00	-1,01	1966,89
Ekspor	1431,73	-8,75	826,43
Impor	142,08	-11,52	68,15

menjadikannya paling diminati di pasar dunia. Nilam aceh juga tidak berbunga dengan pembudidayaan yang dilakukan secara vegetatif (setek) sehingga keragaman genetiknya rendah [3].

Standar mutu minyak nilam berdasarkan Standarisasi Nasional Indonesia (SNI) mengatur kandungan *Patchouli alcohol* minimal 30%. Sedangkan, berdasarkan Standar Perdagangan Internasional mengatur kandungannya minimal 27-35% [4].

II. DASAR PERANCANGAN

A. Seleksi Proses

Terdapat beberapa jenis tanaman nilam yang dibudidayaan di Indonesia, namun tanaman nilam yang paling banyak dibudidayaan adalah nilam aceh (*Pogostemon cablin* Benth.), karena jenis ini yang terbaik, ditinjau dari segi kualitas dan kadar minyaknya. Hasil panen tanaman berupa daun nilam basah (masih mengandung air). Umumnya, kandungan minyak atsiri pada bagian daun, yaitu sebesar 2,5–5,0%. Daun nilam yang telah dipanen selanjutnya akan dicuci, dikeringkan, dilakukan *size reduction* sampai memiliki ukuran yang ditentukan. Agar dapat dimanfaatkan dalam pembuatan minyak atsiri, daun nilam harus diproses lebih lanjut sehingga diperoleh komposisi dan sifat yang memenuhi standar mutu minyak nilam sesuai SNI 06-2385-2006. Untuk memperoleh minyak yang terkandung dalam tanaman nilam, industri minyak atsiri yang telah berdiri saat ini secara umum menggunakan cara konvensional yaitu: distilasi air dan distilasi uap yang masih memiliki beberapa kekurangan. Dikarenakan beberapa kekurangan dari metode konvensional tersebut, digunakan metode yang lebih *advance* yaitu ekstraksi menggunakan pelarut karbon dioksida superkritis sebagai pembanding dalam seleksi proses

pembuatan minyak nilam pada pabrik yang dituliskan dalam Tabel 1.

Ekstraksi karbon dioksida superkritis dipilih dalam proses pembuatan minyak nilam karena keunggulannya berupa hasil *yield* dan kadar *Patchouli alcohol* yang lebih tinggi, pemisahan produk minyak nilam dari pelarut yang lebih mudah, waktu operasi yang lebih cepat, dan biaya operasi tiap gram minyak yang dihasilkan lebih ekonomis.

B. Kapasitas Produksi

Seiring dengan berkembangnya industri minyak atsiri di Indonesia, kebutuhan minyak nilam pun meningkat. Pabrik ini ditargetkan untuk mulai beroperasi pada tahun 2026. Berdasarkan data pada Tabel 2, dapat dilakukan proyeksi total produksi yang harus dipenuhi pada tahun 2026 menggunakan persamaan *discounted* sebagai berikut:

$$P_{2026} = P_{2020} \times (1 + i)^n$$

Dimana *i* adalah pertumbuhan rata-rata dan *n* adalah selisih waktu antara tahun 2026 dan 2020. Berdasarkan perhitungan, proyeksi kebutuhan yang harus dipenuhi sejumlah 2120,14 ton. Proyeksi kebutuhan ini juga dibandingkan dengan kapasitas pabrik yang sudah beroperasi dan ketersediaan bahan baku yang ada. Hasilnya, kapasitas pabrik yang dipilih adalah 98,64 ton/tahun yang mampu memenuhi 4,65% proyeksi kebutuhan pada tahun 2026.

C. Seleksi Lokasi

Lokasi pabrik merupakan tolok ukur yang penting dalam keberhasilan usaha. Berdasarkan data pada Gambar 1 mengenai sebaran produksi minyak nilam di Indonesia, dapat dilihat bahwa Provinsi Sumatera Barat, Jambi, Sumatera Utara, dan Sulawesi Tenggara merupakan wilayah dengan produksi minyak nilam paling besar, di mana masing-masing

Tabel 3.
Perbandingan Seleksi Lokasi Pabrik Pembuatan Minyak Atsiri dari Daun Nilam

Parameter	Pasaman Barat, Sumatera Barat	Merangin, Jambi	Padang Sumatera Utara	Lawas Utara	Utara, Tenggara	Kolaka, Sulawesi Tenggara
Ketersediaan Bahan Baku						
Luas area panen tanaman nilam	1.676 ha	923 ha	435 ha			1.806 ha
Produksi minyak nilam	450 ton/tahun	185 ton/tahun	108 ton/tahun			329 ton/tahun
Produktivitas lahan	268 kg/ha	200 kg/ha	372 kg/ha			182 kg/ha
Utilitas						
Ketersediaan sumber air	Terdapat 33 sungai mengalir Sumatera Barat	Terdapat 4 sungai mengalir Jambi	Terdapat 17 sungai mengalir Sumatera Utara			Terdapat 4 sungai mengalir Sulawesi Tenggara
Kapasitas terpasang pembangkit listrik Tenaga Kerja	1.031,49 MW di Sumatera Barat	369,81 MW di Jambi	4.603,58 MW di Sumatera Utara			405,70 MW di Sulawesi Tenggara
Populasi penduduk	436.298 jiwa	357.315 jiwa	269.845 jiwa			238.352 jiwa
Angkatan kerja	212.825 jiwa	194.936 jiwa	112.853 jiwa			140.363 jiwa
Indeks pembangunan manusia (IPM)	69,57 (sedang)	69,98 (sedang)	70,93 (tinggi)			73,98 (tinggi)
Upah minimum	Rp2.742.476	Rp2.943.033	Rp2.965.127			Rp2.900.000
Iklim dan Topografi						
Curah hujan rata-rata	1.645–4.190 mm/tahun	1.230–2.110 mm/tahun	1.865–2.014 mm/tahun			2.399-2.529 mm/tahun
Kelembaban udara rata-rata	67%	65%	65%			65 - 95%
Temperatur udara rata-rata	22-32°C	24-30°C	23-32°C			24-32°C
Kecepatan angin rata-rata	8 km/jam	10 km/jam	10 km/jam			10-20 km/jam
Topografi	Gunung dan bukit hanya terdapat pada Kecamatan Talamau dan Gunung Tuleh pada Kabupaten Pasaman Barat	Terdapat 3 gunung Gunung Masurai, Gunung Sumbing, dan Gunung Nilo di Kabupaten Merangin	Tidak terdapat gunung dan bukit			Gunung dan bukit memanjang dari daerah utara ke selatan pada Kabupaten Kolaka
Ketinggian daerah	0-913 mdpl	10-1.206 mdpl	0-915 mdpl			0-1.000 mdpl
Aksesibilitas dan Fasilitas Transportasi						
Jarak lokasi pabrik dengan tol	187 km via Gerbang Tol Padang-Pekanbaru	297 km via Gerbang Tol Jambi-Betung	385 km via Gerbang Tol Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi			138 km via Gerbang Tol Kolaka Utara
Jumlah pelabuhan	Terdapat 3 pelabuhan di Sumatera Barat	Terdapat 1 pelabuhan di Jambi	Terdapat 6 pelabuhan di Sumatera Utara			Terdapat 7 pelabuhan di Sulawesi Tenggara
Jumlah bandar udara	Terdapat 6 bandar udara di Sumatera Barat	Terdapat 3 bandar udara di Jambi	Terdapat 8 bandar udara di Sumatera Utara			Terdapat 6 bandar udara di Sulawesi Tenggara
Pemasaran						
Jarak lokasi pabrik dengan ibukota provinsi	210 km	250 km	400 km			177 km
Jarak lokasi pabrik dengan ibukota negara	1.204 km	1.018 km	1.646 km			2.559 km
Hukum dan Peraturan						
Ketentuan pendirian industri	Peraturan Bupati Pasaman Barat Nomor 8 Tahun 2018	Peraturan Bupati Merangin Nomor 44 Tahun 2018	Peraturan Kabupaten Padang Utara Nomor 15 Tahun 2014	Daerah Lawas		Peraturan Bupati Kolaka Nomor 38 Tahun 2017

memiliki produksi sebesar 487, 272, 246, dan 433 ton dengan masing-masing luas area panen tanaman nilam sebesar 1.676, 923, 435, 1.806 ha [5].

Maka, dengan pertimbangan tersebut, dipilih 4 lokasi yang memungkinkan untuk dibangun pabrik minyak atsiri nilam yaitu Sumatera Barat (Pasaman Barat), Jambi (Merangin, Sumatera Utara (Padang Lawas Utara), dan Sulawesi Tenggara (Kolaka).

Hal-hal yang menjadi pertimbangan dalam menentukan lokasi suatu pabrik meliputi:

- Ketersediaan Bahan Baku
- Utilitas
- Pemasaran
- Aksesibilitas dan Fasilitas Transportasi
- Iklim dan Topografi
- Tenaga Kerja
- Hukum dan Peraturan

Dapat diperoleh bahwa lokasi didirikannya pabrik minyak nilam yang cocok dan memenuhi parameter yang diinginkan adalah pada Kabupaten Pasaman Barat, Sumatera Barat dengan detail data hasil analisis yang tersaji pada Tabel 3.

Pendirian pabrik ini dilakukan pada kawasan industri Kecamatan Kinali, Kabupaten Pasaman Barat, Provinsi Sumatera Barat, pemilihan detail lokasi ini dikarenakan luas lahan perkebunan nilam pada Kecamatan Kinali memiliki jumlah terbesar (mengasai luas lahan perkebunan nilam di Kabupaten Pasaman Barat sebesar 23,89%) dibandingkan kecamatan lainnya.

III. URAIAN PROSES

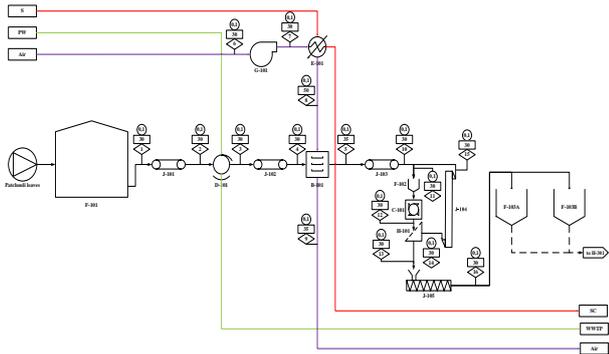
Dari seleksi proses yang telah dilakukan, proses produksi minyak nilam dengan metode ekstraksi karbon dioksida superkritis terbagi menjadi beberapa tahap, yaitu:

A. Proses Pre-Treatment Daun Nilam

Daun nilam dibeli langsung dari petani perkebunan nilam setempat dan dibawa menggunakan truk menuju *patchouli leaves storage* (F-101) (Gambar 2). Daun nilam kemudian diangkut dengan *crane* dan dimasukkan ke dalam *storage* yang memiliki kapasitas penyimpanan selama 5 hari. *Storage* ini juga dilengkapi dengan 2 buah ventilator agar menjaga suhu dan kelembapan daun. Selanjutnya, 1415,32 kg/jam daun nilam dibawa menggunakan *belt conveyor* (J-101).



Gambar 2. Peta lokasi pendirian pabrik minyak atsiri dari daun nilam di Kecamatan Kinali, Kabupaten Pasaman Barat, Sumatera Barat.

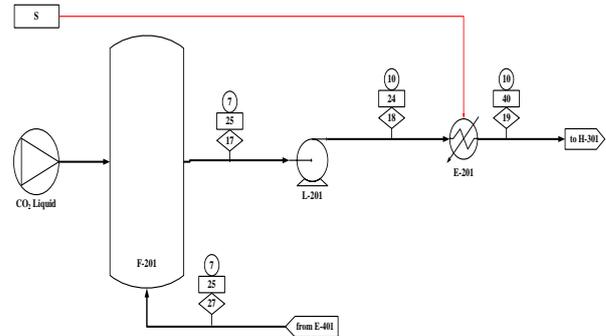


Gambar 3. Diagram alir proses *pre-treatment* daun nilam.

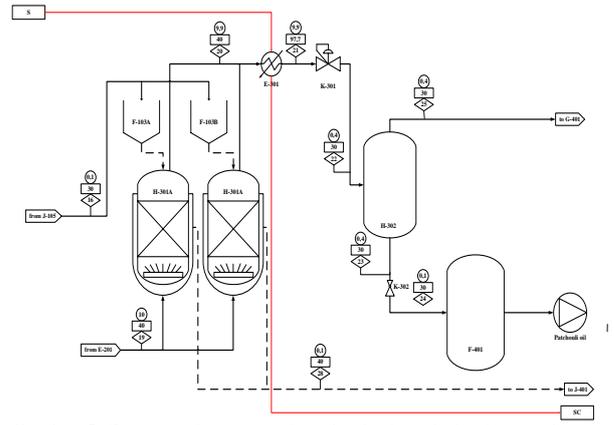
Karena daun nilam yang berasal dari perkebunan masih membawa kotoran dan tanah, daun ini selanjutnya dibersihkan menggunakan *rotary drum washer* (D-101). Alat ini menyemprotkan aliran *process water* (PW) sebanyak 7076,60 kg/jam secara kontinu ke daun yang diputar secara heliks. Pemutaran ini bertujuan untuk membersihkan semua sisi daun (Gambar 3). Air disemprot dengan kecepatan tertentu agar mampu melunakkan kotoran. Kecepatan yang terlalu rendah dapat membuat kotoran tidak mampu terlunakkan dengan sempurna. Gesekan dengan sisi berlubang dari rotary drum washer membuat kotoran terlepas dan larut dalam aliran air serta keluar menjadi *wastewater* (WW) untuk dibuang.

Selanjutnya, daun nilam menuju tahap pengeringan menggunakan *belt conveyor* (J-102). Daun nilam akan dikeringkan di dalam *hot air blower dryer* (B-101) dengan kecepatan belt sebesar 0,21 m/menit menggunakan udara hangat sebanyak 9135,49 kg/jam secara *perpedicular* yang telah diproses suhunya oleh *heater* (E-101) dan kecepatannya oleh *blower* (G-101). Udara hangat bekerja dengan menurunkan *humidity* udara sehingga mengurangi kandungan uap air pada. Daun nilam memiliki kandungan air sekitar 85%, dimana ini pada saat sebelum dibersihkan. Pengeringan daun nilam bertujuan untuk menurunkan kandungan air menjadi 15%. Hal ini dikarenakan kadar tersebut merupakan kadar air optimal dari daun nilam yang menghasilkan minyak yang tinggi. Semakin lama pengeringan maka akan menurunkan rendemen minyak dikarenakan penguapan [6].

Setelah proses pengeringan, daun nilam masuk ke tahapan pemotongan menggunakan *belt conveyor* (J-103). Mulanya, daun nilam ditampung di dalam *hopper* (F-102). Kemudian, daun nilam dipotong menggunakan alat *knife cutter mill* (C-101) hingga berukuran 0,5 mm. Pemotongan ini bertujuan agar memperluas kontak antara daun nilam dan pelarut karbon dioksida (CO₂). Setelah pemotongan, daun nilam



Gambar 4. Diagram alir proses area *pre-treatment* karbon dioksida.



Gambar 5. Diagram alir proses ekstraksi karbon dioksida superkritis.

yang sudah kecil akan diseleksi dengan *screener* (H-101). Apabila ukuran masih besar, daun nilam akan dikembalikan ke *hopper* (F-102) dengan menggunakan *bucket elevator* (J-104). Selanjutnya, daun nilam yang telah melewati seleksi akan dibawa ke *hopper* (F-103) dengan menggunakan *screw conveyor* (J-105).

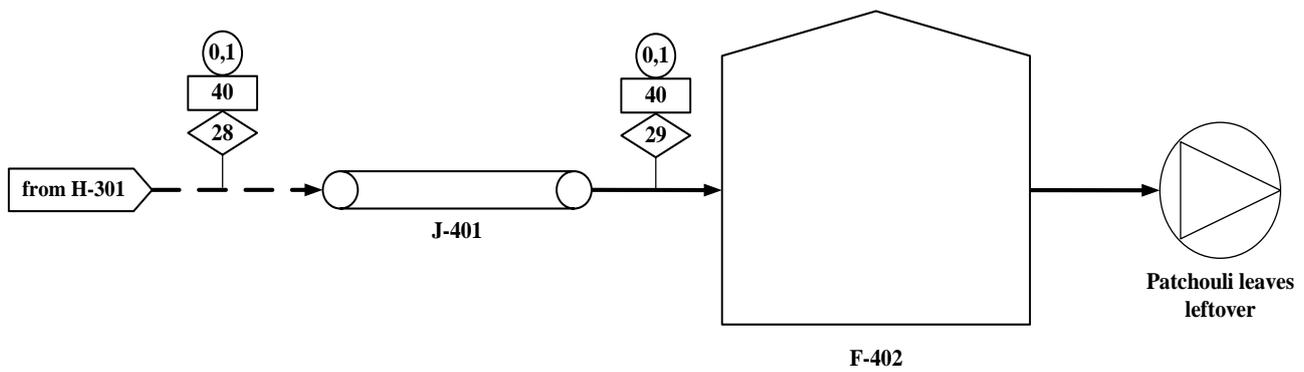
B. Proses Pre-Treatment Karbon Dioksida

Karbon dioksida yang digunakan memiliki fase *liquid* agar mudah dipompa sebelum masuk ke *extractor column*, apabila karbon dioksida yang digunakan memiliki fase gas maka diperlukan *compressor* untuk menjadikan karbon dioksida bersifat superkritis di mana akan memerlukan biaya lebih tinggi (Gambar 4). Karbon dioksida disimpan di dalam *carbon dioxide liquid storage tank* (F-201) dalam fase *liquid* dengan jumlah 44.923,4 kg. Karbon dioksida dialirkan sebanyak 11.230,85 kg/jam. Selanjutnya, karbon dioksida dinaikkan tekanannya menggunakan *pump* (L-201) dan dinaikkan temperaturnya menggunakan *heater* (E-201) yang dialiri dengan *steam* hingga melampaui titik kritisnya ($P_c = 7,38 \text{ MPa}$ dan $T_c = 31,04^\circ\text{C}$) yaitu 10 MPa dan 40°C.

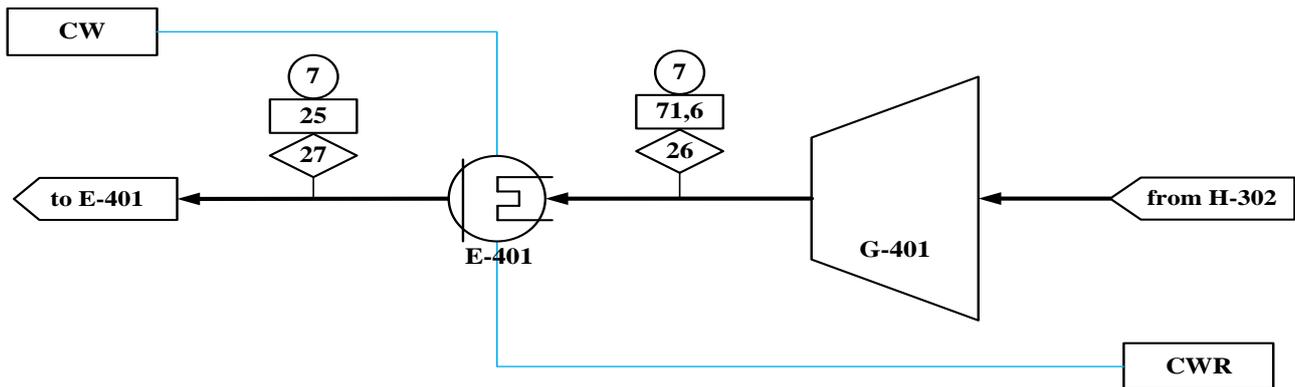
C. Proses Ekstraksi Karbon Dioksida Superkritis

Ekstraksi berjalan secara *semi-batch*, dalam hal ini, daun nilam sebagai zat terlarut akan dimasukkan ke dalam ekstraktor dan selama proses ekstraksi, daun nilam akan tetap berada di tempatnya. Sementara, karbon dioksida superkritis sebagai pelarut akan dialirkan ke dalam ekstraktor secara *continuous* hingga durasi ekstraksi berakhir selama 2 jam (Gambar 5).

Setelah melalui proses *pre-treatment*, daun nilam dimasukkan ke dalam 2 *extractor column* (H-301A dan H-301B) secara bergantian (pada *batch* ganjil menggunakan ekstraktor H-301A dan pada *batch* genap menggunakan ekstraktor H-301B) melalui *bucket hopper*. Selanjutnya, di dalam *extractor column* H-301A, terjadi proses ekstraksi



Gambar 6. Diagram alir proses pengambilan ampas daun nilam.



Gambar 7. Diagram alir proses *recycle* karbon dioksida.

dengan berkontakannya daun nilam dan karbon dioksida superkritis yang dialirkan dari bagian bawah ekstraktor secara *continuous* dalam waktu 2 jam. *Column extraction* (H-301A dan H-301B) dijaga pada kondisi operasi tekanan 10 MPa dan temperatur 40°C dengan hasil *yield* minyak nilam sebesar 2,50% (ditinjau dari massa daun setelah *pre-treatment*) atau 0,88% (ditinjau dari massa daun sebelum *pre-treatment*) [7]. Pabrik ini beroperasi selama 24 jam dengan waktu operasi 2 jam/*batch* sehingga terdapat 12 *batch*/hari. Hasil ekstraksi kemudian dialirkan ke *separator column* (H-302) untuk memisahkan antara minyak dengan pelarut karbon dioksida. Sebelum masuk separator, dipasang *back pressure regulator* (K-301) sebagai pengontrol tekanan serta *heater* (E-301) untuk menaikkan suhu campuran hingga 97,69°C supaya tidak mengalami *freezing* dan menyumbat saluran keluar ekstraktor karena penurunan tekanan. Setelah keluar dari *back pressure regulator* K-301, aliran campuran minyak nilam dan karbon dioksida memiliki kondisi temperatur sebesar 30°C dan tekanan sebesar 0,4482 Mpa.

Selanjutnya, minyak nilam hasil ekstraksi kemudian masuk ke dalam proses pemisahan menggunakan 1 *separator column* (H-302). Proses pemisahan dilakukan berdasarkan densitas, volatilitas dan titik didih pada setiap komponen penyusunnya berdasarkan *flash calculation* menggunakan temperatur dan tekanan operasi yang sesuai. Pada *separator column* (H-302) dilakukan proses *Flash Separation* dengan kondisi operasi temperatur sebesar 30°C dan tekanan sebesar 0,4482 MPa.

Separator column H-302 menghasilkan *yield* minyak nilam sebesar mendekati 2,50% (ditinjau dari massa daun setelah *pre-treatment*) atau 0,88% (ditinjau dari massa daun sebelum *pre-treatment*) dengan kadar *Patchouli alcohol* sebesar 65,51%. Minyak hasil dari pemisahan pertama akan dialirkan menuju *patchouli oil storage tank* (F-401), namun sebelumnya perlu dilakukan penurunan tekanan dari aliran minyak nilam yang keluar dari ekstraktor menggunakan

pressure reducing valve (K-302) sehingga minyak yang akan dimasukkan ke dalam *patchouli oil storage tank* (F-401) memiliki kondisi temperatur 30°C dan tekanan 0,101325 MPa (1 atm).

D. Proses Pengambilan Ampas Daun Nilam

Setelah proses ekstraksi karbon dioksida, *bucket* daun nilam dikeluarkan dari *extractor column* (H-301A dan H-301B). Ampas tersebut akan dibawa dengan *belt conveyor* (J-401). Hasilnya akan ditampung ke *patchouli leaves leftover storage* (F-402) untuk dijual sebagai kompos.

E. Proses Recycle Karbon Dioksida

Setelah minyak nilam dan karbon dioksida dipisahkan pada *separator column* (H-303), karbon dioksida murni dialirkan ke *compressor* (G-401). *Compressor* digunakan untuk mengubah karbon dioksida dalam fasa gas menjadi *liquid* dengan menaikkan tekanan dari 0,4482 MPa menjadi 7 MPa dan temperatur dari 30°C menjadi 71,62°C. Karbon dioksida kemudian diturunkan temperaturnya menggunakan *cooler* (E-203) dari 71,62°C menjadi 25°C. Selanjutnya, karbon dioksida yang telah di-*recycle* dimasukkan kembali ke dalam *carbon dioxide liquid storage tank* (F-201). Proses *recycle* akan membuat proses lebih efisien karena tidak ada karbon dioksida yang terbuang. Dengan asumsi 100% *recovery* CO₂, maka kebutuhan karbon dioksida pada pabrik sebesar 11.230,85 kg.

IV. NERACA MASSA

Berdasarkan perhitungan neraca massa yang telah dilakukan pada desain pabrik minyak nilam menggunakan metode ekstraksi karbon dioksida superkritis dengan asumsi pabrik beroperasi 24 jam selama 330 hari per tahun, dibutuhkan bahan baku berupa daun nilam sebanyak

11.209,33 ton/tahun dan pelarut karbon dioksida sebanyak 44.923,39 kg/tahun untuk menghasilkan minyak nilam sebanyak 98.642,13 kg/tahun. Produk akhir minyak nilam ini memiliki kandungan 65,51% *Patchouli alcohol*, 12,40% *Guaiene*, 11,30% α -*Patchoulene*, 5,39% *Seychellene*, dan 5,40% *Caryophyllene* (dalam persen massa).

V. ANALISIS EKONOMI

Pabrik ini membutuhkan *Capital Expenditure* (CAPEX) sebesar Rp245.783.550.136,33 dan *Operational Expenditure* (OPEX) sebesar Rp248.446.730.157,46. Dengan desain umur pabrik selama 25 tahun, analisis ekonomi didapatkan *Net Present Value* (NPV) sebesar Rp353.544.585.193,44 dan *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 23,44% yang dimana nilainya lebih besar dari *weighted average cost of capital* (WACC) sebesar 8,74%. Kemudian didapatkan *Pay Out Time* (POT) sebesar 5 tahun dan *Break Even Point* (BEP) sebesar 35,29%.

VI. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut: (1) Pembangunan direncanakan tahun 2023 di Kecamatan Kinali, Kabupaten Pasaman Barat, Provinsi Sumatera Barat, (2) Pabrik mulai beroperasi tahun 2026, (3) Kapasitas pabrik: 98,64 ton/tahun, (4) Kebutuhan bahan baku, (5) Daun nilam: 11.209,33 ton/tahun, Karbon dioksida: 44.923,39 kg/tahun, (6) Pabrik beroperasi 330 hari/tahun selama 24 jam/hari. Dari hasil

uraian, dari segi teknis dan ekonomis terlihat bahwa IRR sebesar 23,44% berada di atas WACC sebesar 8,77%. Jangka waktu pengembalian modal (POT) selama 5 tahun, lebih kecil dari waktu pengembalian modal yang ditetapkan pemberi pinjaman yaitu 10 tahun. Berdasarkan kondisi seperti ini, pabrik minyak nilam ini layak untuk didirikan dan dibiayai (Gambar 6 dan Gambar 7).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, "Ekspor dan Impor." Badan Pusat Statistik, Jakarta, 2023. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/exim/>
- [2] J. A. Laksmono, E. Agustian, and I. B. Adilina, "Patchouli alcohol enrichment from patchouli oil using molecular distillation unit," *J. Teknol. Ind. Pertan.*, vol. 17, no. 3, pp. 1–7, 2007.
- [3] R. M., "Peningkatan Mutu Produksi Minyak Nilam Melalui Ekstraksi Menggunakan CO₂ Fluida Superkritis," Departemen Kimia, Universitas Indonesia, 2021.
- [4] I. Kamar, "Ekstraksi Minyak Atsiri dari Daun Nilam (*Pogostemon Cablin Benth*) Menggunakan Metode Air-Hydrodistillation dan Steam Distillation dengan Skala Besar," Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2019.
- [5] A. A. T. Asri and P. R. B. Gautama, "Ekstraksi Minyak Atsiri dari Daun Nilam (*Pogostemon Cablin*) Menggunakan Karbon Dioksida Superkritis," Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2023.
- [6] H. Zuliansyah, S. H. Sumarlan, and others, "Uji performa penyulingan tanaman nilam (*Pogostemon cablin*, *Benth*) menggunakan boiler di Kabupaten Blitar," *J. Bioproses Komod. Trop.*, vol. 1, no. 1, pp. 62–72, 2013.
- [7] T. Kartodirdjo and R. Setiawan, "Pra Desain Pabrik Kristal Patchouli Alcohol dari Daun Nilam," Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2022.