



Sjahril Botutihe.ST.,MM
Asriani Laboko, S.TP., M.Si
Dr. Selvi, SE.,M.Si
Evi Sunarti Antu,ST.,MT

BUKU AJAR

DESTILASI MINYAK ATSIRI

BERBASIS

KOMPRESOR UAP

ASPEK TEORI, PERANCANGAN DAN PENGGUNAAN



BUKU AJAR
DESTILASI MINYAK ATSIRI BERBASIS KOMPRESOR UAP ASPEK
TEORI, PERANCANGAN DAN PENGGUNAAN

Sjahril Botutihe, S.T., MT
Asriani Laboko, S.TP., M.Si
Dr. Selvi, SE., M.Si
Evi Sunarti Antu, ST., MT



Tahta Media Group

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

BUKU AJAR
DESTILASI MINYAK ATSIRI BERBASIS KOMPRESOR UAP ASPEK TEORI,
PERANCANGAN DAN PENGGUNAAN

Penulis:

Sjahril Botutihe, S T. MT
Asriani Laboko, S.TP., M.Si
Dr. Selvi, SE., M.Si
Evi Sunarti Antu, ST., MT

Desain Cover:

Tahta Media

Editor:

Tahta Media

Proofreader:

Tahta Media

Ukuran:

x, 77, Uk: 15,5 x 23 cm

ISBN : 978-634-262-050-2

Cetakan Pertama:

November 2025

Hak Cipta 2025, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2025 by Tahta Media Group

All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT TAHTA MEDIA GROUP
(Grup Penerbitan CV TAHTA MEDIA GROUP)
Anggota IKAPI (216/JTE/2021)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga buku ajar sekaligus panduan praktis berjudul "Destilasi Minyak Atsiri Berbasis Kompresor Uap (VCD): Aspek Teori, Perancangan, dan Penggunaan" ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini lahir dari kesadaran akan pentingnya transisi teknologi dalam industri minyak atsiri nasional. Komoditas seperti nilam memerlukan proses ekstraksi yang tidak hanya menghasilkan rendemen tinggi, tetapi juga menjamin kualitas premium (kadar Patchouli Alcohol tinggi) dengan efisiensi energi yang berkelanjutan. Teknologi Destilasi Berbasis Kompresor Uap (VCD) hadir sebagai solusi inovatif yang menjawab tantangan biaya operasional tinggi dan fluktuasi kualitas yang sering dihadapi oleh metode tradisional.

Buku ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan akademisi dan praktisi. Sebagai Buku Ajar, ia menyajikan landasan teori yang kokoh, mulai dari prinsip Termodinamika, Neraca Massa dan Energi, hingga metodologi Perancangan Komponen VCD (Kompresor dan Penukar Kalor). Sebagai Panduan Penggunaan, buku ini memuat Prosedur Operasi Standar (POS) sederhana, panduan *troubleshooting*, dan aspek Keamanan dan Keselamatan Kerja (K3) untuk memastikan pengoperasian alat berjalan aman dan optimal di lapangan.

Penyusunan buku ini merupakan luaran esensial dari penelitian dengan skem Penelitian Dosen Pemula (PDP) yang kami lakukan. Oleh karena itu, kami, tim penulis Sjahril Botutihe dan tim penulis lainnya, mengucapkan terima kasih dan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada *Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi Republik Indonesia melalui Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM)*, yang telah memberikan kepercayaan dan dukungan pendanaan melalui Skema Penelitian Dosen Pemula. Dukungan ini merupakan kunci utama yang memungkinkan terlaksananya riset mendalam serta pengembangan inovasi teknologi VCD hingga terwujudnya publikasi ini.

Kami menyadari bahwa buku ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang konstruktif dari pembaca sangat kami harapkan demi penyempurnaan di masa mendatang. Semoga buku ini dapat menjadi referensi berharga, berkontribusi dalam peningkatan mutu pendidikan teknik, dan mendorong kemandirian industri minyak atsiri di Indonesia.

Gorontalo, 13 Oktober 2025

Tim Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|----|
| KATA PENGANTAR..... | iv |
| DAFTAR ISI..... | vi |
| DAFTAR TEBEL..... | ix |
| BAGIAN I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang..... | 2 |
| 1.2. Metode Ilmiah dan Teknik Pendekatan..... | 2 |
| 1.3. Keamanan dan Keselamatan Kerja (K3)..... | 3 |
| BAGIAN II DASAR-DASAR DESTILASI..... | 9 |
| BAB 2 PENGANTAR DESTILASI DAN EFISIENSI ENERGI..... | 10 |
| 2.1. Definisi dan Tujuan Destilasi..... | 10 |
| 2.2. Jenis-Jenis Destilasi Konvensional (Distilasi Sederhana)..... | 10 |
| 2.3. Keterbatasan Destilasi Konvensional (Konsumsi Energi Tinggi). 11 | |
| 2.4. Pengenalan Teknologi Destilasi Hemat Energi..... | 11 |
| BAB 3 PRINSIP DASAR DESTILASI BERBASIS KOMPRESOR..... | 15 |
| 3.1. Konsep Dasar Kompresor Uap..... | 15 |
| 3.2. Peran Kompresor Dalam Siklus Destilasi..... | 17 |
| 3.3. Perbedaan Utama Destilasi Berbasis Kompresor dengan Destilasi Konvensional..... | 19 |
| 3.4. Keuntungan dan Kelemahan Sistem Destilasi Berbasis Kompresor..... | 20 |
| BAB 4 TERMODINAMIKA SISTEM KOMPRESOR UAP..... | 22 |
| 4.1. Hukum Termodinamika dan Siklus Destilasi Berbasis Kompresor (VCD)..... | 22 |
| 4.2. Hukum Termodinamika dan Siklus Destilasi Berbasis Kompresor (VCD)..... | 24 |
| 4.3. Siklus Refrigerasi Idiel dan Aplikasinya pada Destilasi..... | 25 |
| 4.4. Diagram Entalpi-Tekanan (P-h) untuk Fluida Kerja..... | 26 |
| 4.5. Analisis Proses: Evaporasi, Kompresi, Kondensasi, Ekspansi Dalam Siklus Destilasi Berbasis Kompresor..... | 28 |
| BAGIAN III KOMPONEN, RANCANG BAGUN DAN DESAIN SISTEM..... | 30 |
| BAB 5 KOMPONEN KUNCI ALAT DESTILASI BERBASIS KOMPRESOR..... | 31 |

| | |
|---|----|
| 5.1. Kompresor: Jenis (<i>Sentrifugal, Roots Blower, Screw</i>), Pemilihan Kapasitas | 31 |
| 5.2. Evaporator: Tipe (<i>Falling Film, Rising Film, Plate</i>), Perhitungan Luas Permukaan | 33 |
| 5.3. Kondensor: Fungsi, Desain Penukar Kalor yang Efisien | 34 |
| 5.4. Katup Ekspansi dan Kontrol Laju Alir..... | 36 |
| BAB 6 NERACA MASSA DAN ENERGI UNTUK DESAIN | 38 |
| 6.1. Perhitungan Neraca Massa Sistem | 38 |
| 6.2. Perhitungan Neraca Energi: Input Energi vs Output Destilasi..... | 39 |
| 6.3. Penentuan Kapasitas Produksi (Laju Produksi Destilasi) | 40 |
| 6.4. Simulasi dan Modeling Sistem <i>Vapor Compression Distillation</i> (VCD) | 40 |
| BAB 7 ASPEK MEKANIS DAN PEMILIHAN MATERIAL | 42 |
| 7.1. Pertimbangan Tekanan dan Suhu Operasi | 42 |
| 7.2. Pemilihan Material Tahap Korosi (Stanless Steel Tpe 304,201) .. | 44 |
| 7.3. Desain Pipa | 46 |
| 7.4. Perhitungan <i>Pressure Drop</i> | 46 |
| BAGIAN IV ANALISIS KINERJA DAN OPTIMASI | 49 |
| BAB 8 INDIKATOR KINERJA TERMODINAMIKA..... | 50 |
| 8.1. Koefisien Kinerja (<i>Coefficient of Performance (COP)</i>)..... | 50 |
| 8.2. Gained Output Ratio (GOR) | 51 |
| 8.3. Energi Spesifik untuk Produksi Destilasi (kWh/m^3)..... | 52 |
| 8.4. Analisis Energi dan Kerugian Energi..... | 53 |
| BAB 9 FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KINERJA | 55 |
| 9.1. Pengaruh Suhu terhadap Kinerja Sistem..... | 55 |
| 9.2. Dampak Efisiensi Kompresor terhadap Kinerja Termal | 56 |
| 9.3. Pengaruh Laju Alir Fluida Umpan..... | 56 |
| BAB 10 OPTIMASI DAN PENGENDALIAN SISTEM | 57 |
| 10.1. Strategi Optimasi Sistem..... | 57 |
| 10.2. Metode Kontrol (PID) untuk Suhu dan Tekanan | 57 |
| 10.3. Integrasi Sistem dengan Sumber Energi Terbarukan | 58 |
| 10.4. Analisis Kelayakan Ekonomi (<i>Benefit Analysis</i>) | 59 |
| BAGIAN IV PANDUAN OPRASIONAL DAN PEMELIHARAAN PRAKTIS | 61 |
| BAB 11 PROSEDUR PENGOPERASIAN ALAT DESTILASI BERBASIS KOMPRESOR..... | 62 |

| | |
|---|-----------|
| 11.1. Persiapan Awal dan Pemeriksaan Pra-Operasi | 62 |
| 11.2. Prosedur <i>Start-Up</i> | 63 |
| 11.3. Pengaturan Parameter Operasi (Tekanan dan Suhu)..... | 64 |
| 11.4. Prosedur Shut-Down | 65 |
| BAB 12 PEMECAHAN MASALAH (<i>TROUBLESHOOTING</i>) | 67 |
| 11.1. Masalah Umum pada Kompresor (Overheating dan Suara Bising) | 67 |
| 11.2. Penurunan Kinerja Destilasi (Laju Produksi Rendah) | 69 |
| 12.3. Masalah Fouling dan Solusi Pembersihan <i>Cleaning-in-Place</i> (CIP)..... | 69 |
| 12.4. Kebocoran dan Penanganan Sistem Refrigeran (Jika Menggunakan Refrigerator Terpisah)..... | 70 |
| BAB 13 PEMELIHARAAN PREVENTIF DAN KEAMANAN | 72 |
| 13.1. Jadwal Inspeksi dan Pemeliharaan Rutin | 72 |
| 13.2. Kalibrasi Sensor dan Instrumen | 73 |
| 13.3. Aspek Keamanan Operasi (Tekanan Tinggi)..... | 73 |
| 13.4. Standar Kualitas Destilasi yang Dihasilkan | 74 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 75 |

DAFTAR TEBEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1. Mekanisme Kerja Kompresor..... | 16 |
| Tabel 2. Rentang Tekanan dan Suhu Operasi..... | 43 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1. Kinerja Kerja Vapor Compression Distillation(VCD) | 17 |
| Gambar 2. Grafik Efisiensi Vapor Compression Distillation (VCD)..... | 23 |
| Gambar 3. Ideal Vapor Compression Cycle..... | 26 |
| Gambar 4. Koefisien Kinerja (COP) tertinggi bagi sistem destilasi berbasis kompresor..... | 28 |

BAGIAN I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Destilasi minyak atsiri, khususnya nilam, merupakan tulang punggung ekonomi komoditas di banyak wilayah seperti Kabupaten Bone Bolango. Secara tradisional, proses destilasi mengandalkan suplai uap dari boiler terpisah, yang seringkali memiliki efisiensi termal yang rendah, menyebabkan pemborosan energi yang signifikan, biaya operasional tinggi, dan fluktuasi suhu yang berdampak pada kualitas produk akhir (rendah *Patchouli Alcohol*).

Menanggapi tantangan ini, diperlukan adopsi teknologi yang lebih efisien, yaitu Destilasi Berbasis Kompresor Uap atau *Vapor Compression Distillation* (VCD). Teknologi VCD bekerja dengan mendaur ulang uap bekas dari ketel (setelah melewati bahan baku) menggunakan kompresor. Kompresor ini meningkatkan tekanan dan suhu uap, mengubahnya menjadi sumber panas yang direkompresi. Uap panas ini kemudian digunakan sebagai media pemanas pada jaket ketel, sehingga meminimalkan kebutuhan energi baru dan mengurangi kerugian panas secara drastis. Implementasi alat ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi, menstabilkan tekanan proses, dan menghasilkan minyak nilam dengan kualitas premium.

Teknologi VCD bekerja dengan mendaur ulang uap bekas dari ketel (setelah melewati bahan baku) menggunakan kompresor. Kompresor ini meningkatkan tekanan dan suhu uap, mengubahnya menjadi sumber panas yang direkompresi. Uap panas ini kemudian digunakan sebagai media pemanas pada jaket ketel, sehingga meminimalkan kebutuhan energi baru dan mengurangi kerugian panas secara drastis. Implementasi alat ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi, menstabilkan tekanan proses, dan menghasilkan minyak nilam dengan kualitas premium.

1.2. METODE ILMIAH DAN TEKNIK PENDEKATAN

Penggunaan dan analisis kinerja alat destilasi berbasis kompresor ini didasarkan pada prinsip-prinsip Metode Ilmiah dan Teknik Kimia. Dalam buku ini mengadopsi pendekatan kuantitatif melalui serangkaian pengujian kinerja yang terdiri dari:

1. Tahap perancangan dan pembangunan yaitu melibatkan perhitungan termodinamika (Neraca Massa dan Energi) untuk menentukan spesifikasi Kompresor, Penukar Kalor, dan Ketel agar sistem dapat beroperasi secara efisien pada tekanan target (misalnya 1.1bar).

2. Tahap operasi dan pengumpulan data adalah Posedur Operasi Standar (POS) diterapkan secara konsisten. Variabel bebas utama, seperti tekanan operasi atau durasi destilasi, divariasikan secara terkontrol. Data yang dikumpulkan meliputi konsumsi daya listrik, suhu, tekanan, rendemen minyak, dan waktu destilasi.
3. Tahap analisis kinerja adalah data diolah untuk menghitung Efisiensi Energi Spesifik (kWh/kg minyak), menganalisis kestabilan proses (*standard deviation* tekanan), dan mengukur Kualitas Minyak (kandungan *Patchouli Alcohol*) menggunakan instrumen seperti Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS).

1.3. KEAMANAN DAN KESELAMATAN KERJA (K3)

Mengingat alat destilasi berbasis kompresor melibatkan operasi pada tekanan, suhu tinggi, dan energi listrik yang besar, penerapan Keamanan dan Keselamatan Kerja (K3) adalah mutlak. Prosedur K3 yang harus diutamakan meliputi:

1. Perlindungan Diri (APD)
Operator wajib menggunakan Alat Pelindung Diri lengkap, termasuk sarung tangan tahan panas, kacamata pelindung, dan sepatu keselamatan, selama pengoperasian dan *maintenance*.
2. Manajemen Tekanan
Alat ini beroperasi di atas tekanan atmosfer. Katup Pelepas Tekanan (*Safety Valve*) harus berfungsi dengan baik dan dikalibrasi secara rutin. Dilarang keras membuka ketel atau valve utama sebelum tekanan internal turun mencapai nol (tekanan atmosfer).
3. Keselamatan terhadap alat pembakaran (Tungku/Boiler)
Keselamatan kerja pada tungku harus mencakup pencegahan kebakaran, pencegahan cedera termal, dan pencegahan kerusakan struktural alat.
 - 1) Desain dan Struktur Tungku (Pencegahan Kebakaran)
 - a. Jarak Aman
Pastikan tungku (sumber api) ditempatkan pada jarak aman dari material yang mudah terbakar, termasuk bahan baku (nilam kering), bahan bakar cadangan, dan bangunan utama.
 - b. Isolasi Termal

Bagian luar tungku harus memiliki isolasi termal yang memadai (misalnya lapisan batu bata tahan api atau *refractory cement*) untuk menjaga suhu permukaan luar tetap rendah dan mencegah panas merambat ke lingkungan kerja.

c. Fondasi Stabil

Tungku harus didirikan di atas fondasi yang kokoh dan tahan panas untuk mencegah keruntuhan struktural selama operasi suhu tinggi.

d. Saluran Buang Asap (Cerobong)

Cerobong harus dirancang dengan ketinggian yang memadai dan posisi yang benar untuk membuang gas buang dan asap ke udara terbuka tanpa mengganggu area kerja. Cerobong harus dibersihkan secara rutin untuk menghindari penumpukan jelaga yang dapat menyebabkan kebakaran.

2) Pengendalian Bahan Bakar dan Pembakaran

a. Penyimpanan Bahan Bakar

Bahan bakar (kayu, tempurung kelapa, minyak, atau gas) harus disimpan di area terpisah, kering, dan berventilasi baik. Jika menggunakan bahan bakar cair/gas, pastikan sistem perpipaan dan katup kedap dan bebas kebocoran.

b. Pengaturan Udara

Pastikan ada suplai udara pembakaran yang cukup ke tungku. Pembakaran yang tidak sempurna dapat menghasilkan karbon monoksida (CO), gas beracun, atau menyebabkan api tidak stabil.

c. Prosedur Startup

Ikuti prosedur penyalaan api secara bertahap. Hindari penambahan bahan bakar dalam jumlah besar secara tiba-tiba yang dapat menyebabkan lonjakan suhu atau api balik.

3) Perlindungan Operator (Cedera Termal)

a. Alat Pelindung Diri (APD)

Operator wajib menggunakan APD khusus saat berinteraksi langsung dengan tungku:

- a) Sarung Tangan Tahan Panas
Untuk memasukkan/mengeluarkan bahan bakar atau mengatur damper.
 - b) Kacamata Pelindung
Melindungi mata dari percikan api atau abu.
 - c) Pakaian Kerja Tahan Panas
Melindungi kulit dari paparan panas radiasi.
- b. Alat Pemadam Api
- Sediakan Alat Pemadam Api Ringan (APAR) jenis yang sesuai (misalnya, jenis dry chemical atau CO₂) yang mudah diakses di dekat tungku.
- a) Keselamatan Boiler (Jika Tungku terhubung ke Ketel Uap)
Jika tungku memanaskan ketel uap (boiler) untuk destilasi uap langsung, keselamatan terkait tekanan menjadi prioritas tertinggi:
 - (a) Katup Pengaman (Safety Valve)
Harus terpasang pada boiler dan diuji secara berkala untuk memastikan dapat melepaskan tekanan jika batas aman terlampaui.
 - (b) Indikator Tekanan dan Level Air
Pressure gauge dan kaca penduga level air harus berfungsi dengan baik. Pengoperasian boiler tanpa air dapat menyebabkan ledakan hebat (overheating dan rupture).
 - (c) Prosedur *Blowdown*
Lakukan *blowdown* (pembuangan endapan/lumpur) secara rutin sesuai jadwal untuk menjaga kualitas air dan mencegah scaling yang mengurangi efisiensi dan integritas dinding boiler.

Dengan menerapkan langkah-langkah keselamatan ini, risiko cedera dan kerusakan properti akibat penggunaan alat pembakaran dapat diminimalkan.

4. Prosedur *Shutdown* Darurat

Operator harus memahami prosedur *shutdown* darurat untuk mengisolasi daya dan melepaskan tekanan secara terkontrol jika terjadi malfungsi tak terduga (misalnya overpressure atau kebocoran uap yang signifikan). Penerapan K3 yang ketat tidak hanya melindungi personel tetapi juga menjaga integritas peralatan, memastikan proses penelitian dan produksi berjalan lancar dan aman.

Prosedur *Shutdown* Darurat harus diaktifkan segera setelah operator mendeteksi adanya malfungsi kritis tak terduga, seperti tekanan yang melampaui batas aman (misalnya > 1.5 bar meskipun *safety valve* sudah aktif), kebocoran uap panas yang signifikan yang membahayakan area kerja, atau kerusakan mekanis/listrik mendadak pada kompresor. Tujuannya adalah melindungi personel dan mencegah kerusakan permanen pada peralatan. Adapun langkah prosedur *shutdown* darurat yang dilakukan sebagai berikut:

1) Isolasi Daya dan Sumber Energi

Langkah pertama dan paling kritis adalah segera mengisolasi semua sumber energi ke alat.

a. Matikan Kompresor

Segera tekan tombol *EMERGENCY STOP (E-STOP)* pada panel kontrol. Tindakan ini harus memutuskan aliran listrik ke Kompresor Uap dan semua komponen listrik utama (heater awal, pompa sirkulasi).

b. Putus Sakelar Utama

Jika tombol *E-STOP* gagal atau tidak tersedia, matikan Sakelar Daya Utama (*Main Breaker*) alat yang terletak di panel daya terdekat. Tindakan ini memastikan tidak ada energi listrik yang masih mengalir ke sistem, yang dapat menyebabkan Kompresor bekerja di luar kendali atau meningkatkan risiko sengatan listrik jika ada kebocoran air/uap.

2) Pengendalian Tekanan

Setelah daya diisolasi, operator harus fokus pada pelepasan tekanan internal secara aman dan terkontrol.

- a. Hentikan Pemanasan
Jika ada pemanas *start-up* yang menggunakan bahan bakar (gas/diesel), pastikan suplai bahan bakar ke pembakar juga dimatikan.
 - b. Buka Katup Vent Perlahan
Secara hati-hati dan perlahan, buka Katup Vent (Pembuangan Uap) yang terpasang pada ketel destilasi. Pelepasan tekanan harus dilakukan secara bertahap untuk menghindari flash evaporation yang tiba-tiba, yang dapat merusak struktur ketel. Operator harus menjaga jarak aman dari uap yang keluar.
 - c. Periksa *Safety Valve*
Verifikasi bahwa Katup Pelepas Tekanan (*Safety Valve*) telah terbuka atau siap terbuka jika tekanan tetap tinggi. Dalam skenario darurat, safety valve adalah garis pertahanan terakhir untuk mencegah ledakan.
 - d. Cek Air Pendingin: Pastikan aliran air pendingin ke kondensor tetap berjalan sementara tekanan dilepaskan, karena ini membantu menurunkan suhu internal secara cepat.
- 3) Penanganan Kebocoran dan Evaluasi
Setelah tekanan berhasil dikendalikan, operator dapat melanjutkan dengan penilaian kondisi dan penanganan lingkungan.
- a. Evakuasi Area
Jika kebocoran uap panas signifikan terdeteksi, segera evakuasi semua personel dari area berbahaya hingga uap menghilang dan suhu lingkungan kembali normal.
 - b. Identifikasi Sumber Malfungsi
Setelah kondisi aman, operator dapat mengidentifikasi penyebab utama malfungsi (misalnya kegagalan sensor tekanan, rusaknya gasket ketel, atau tripping kompresor).
 - c. Dokumentasi
Catat waktu kejadian, gejala, tekanan puncak yang tercatat, dan tindakan yang diambil.

Peringatan Kritis:

Jangan pernah mencoba memperbaiki atau membuka penutup ketel destilasi saat tekanan internal masih menunjukkan nilai di atas tekanan atmosfer (0bar). Tunggu hingga alat benar-benar dingin dan tekanan dipastikan nol sebelum melakukan inspeksi lebih lanjut.

BAGIAN II

DASAR-DASAR DESTILASI

BAB 2

PENGANTAR DESTILASI DAN EFISIENSI ENERGI

2.1. DEFINISI DAN TUJUAN DESTILASI

Destilasi adalah teknik pemisahan komponen cairan berdasarkan perbedaan tingkat kemudahan menguapnya (*volatilitas*). Proses destilasi secara umum terdiri dari dua tahapan utama yaitu evaporasi (Penguapan) dan Kondensasi. Dalam tahapan Pertama, campuran cairan dipanaskan hingga sebagian komponen menguap, kemudian uap tersebut didinginkan untuk mendapatkan kondensat atau destilat yang lebih murni (Atta et al, 2024). Salah satu aplikasi signifikan dari destilasi adalah untuk Meningkatkan kemurnian produk. Aplikasi destilasi sangat luas, dengan tujuan utama meliputi:

1. Meningkatkan kemurnian yaitu mendapatkan produk akhir yang sangat murni, contohnya memisahkan alkohol dari air.
2. Mendaur ulang pelarut yaitu mengumpulkan dan memulihkan pelarut yang telah digunakan agar dapat dipakai lagi.
3. Desalinasi air yaitu menghilangkan kandungan garam dan mineral untuk memproduksi air tawar dari sumber air asin atau payau.

2.2. JENIS-JENIS DESTILASI KONVENSIONAL (DISTILASI SEDERHANA)

Destilasi sederhana adalah metode pemisahan yang paling dasar dalam teknik destilasi dan sering digunakan baik dalam konteks laboratorium maupun industri. Destilasi sederhana merujuk pada proses yang melibatkan pemanasan campuran cairan hingga titik didihnya, dimana uap yang dihasilkan secara langsung dituangkan ke dalam kondensor untuk diembunkan menjadi cairan kembali. Dengan cara ini, komponen dalam titik didih yang lebih rendah dapat terpisahkan dari campurannya (Irawan et al, 2024). Salah satu keuntungan utama dari destilasi sederhana adalah kemampuannya untuk memisahkan cairan dari zat padat atau komponen cair yang memiliki volatilitas rendah. Selain itu, destilasi sederhana juga digunakan dalam produksi minyak atsiri, dimana bahan mentah

yang memiliki komponen aroma tinggi diolah untuk mengambil minyak yang bermanfaat tanpa memerlukan perlakuan kimia lanjutan.

Meskipun banyak variasi konfigurasi dalam industri dan laboratorium, destilasi sederhana merupakan perwakilan paling dasar dari metode konvensional. Dalam skema ini, campuran cairan dipanaskan sampai mendidih, dan uap yang terbentuk langsung disalurkan ke kondensor untuk diembunkan. Destilasi sederhana sangat cocok untuk pertama, memisahkan zat yang memiliki perbedaan titik didih yang sangat besar (lebih dari 25°C). Kedua, memurnikan cairan dari zat padat atau zat cair lain yang tidak mudah menguap (*non-volatil*), misalnya memisahkan air dari garam. Namun, metode konvensional ini memiliki kelemahan signifikan karena membutuhkan input energi panas (termal) yang besar dan terus-menerus agar proses penguapan dapat dipertahankan.

2.3. KETERBATASAN DESTILASI KONVENSIONAL (KONSUMSI ENERGI TINGGI)

Kendala utama pada sistem destilasi konvensional, terutama pada operasi skala besar, adalah borosnya konsumsi energi termal. Untuk mengubah cairan menjadi uap, sistem harus terus-menerus menyuplai sejumlah besar kalor laten penguapan, energi yang diperlukan untuk perubahan fasa tanpa kenaikan suhu. Dalam operasional konvensional:

1. Masukan energi yaitu energi panas (biasanya dari uap atau listrik) selalu dimasukkan ke alat pemanas (*reboiler*) untuk menguapkan cairan.
2. Pembuangan energi adalah panas yang dilepaskan ketika uap didinginkan kembali menjadi destilati (kalor laten kondensasi) seringkali terbuang sia-sia ke lingkungan melalui media pendingin (seperti air yang dialirkan ke menara pendingin).

Siklus yang menghamburkan panas ini menjadikan destilasi tradisional sebagai salah satu proses industri yang paling intensif energi.

2.4. PENGENALAN TEKNOLOGI DESTILASI HEMAT ENERGI

Untuk mengatasi inefisiensi energi tersebut, berbagai teknologi destilasi yang efisien telah dikembangkan. Salah satu yang paling efisien dan efektif adalah sistem Destilasi Berbasis Kompresor (*Vapor Compression Distillation/VCD*). Alih-alih membuang panas kondensasi, VCD memanfaatkan sebuah kompresor untuk:

1. Mengambil uap yang dihasilkan.
2. Meningkatkan suhu dan tekanan uap (mengkompresi).
3. Menggunakan uap bertekanan tinggi ini sebagai sumber panas di kondensor untuk menguapkan cairan umpan yang baru.

Intinya, kalor laten yang dilepaskan saat uap bertekanan mengembun, didaur ulang untuk memanaskan dan menguapkan umpan. Dengan mengganti kebutuhan uap eksternal yang besar hanya dengan daya listrik minimal untuk menjalankan kompresor, *Vapor Compression Distillation* (VCD) secara dramatis meningkatkan efisiensi energi sistem secara keseluruhan.

Menghadapi tingginya biaya operasional dan tantangan keberlanjutan lingkungan akibat konsumsi energi yang besar pada destilasi konvensional, inovasi teknologi telah mengarah pada pengembangan sistem destilasi hemat energi. Teknologi-teknologi ini bertujuan untuk memaksimalkan daur ulang panas dan meminimalkan input energi dari sumber eksternal.

1. Prinsip Utama Penghematan Energi Destilasi

Secara fundamental, teknologi hemat energi dalam destilasi berfokus pada dua hal:

- a. Memulihkan Panas Laten

Mencegah pembuangan panas laten uap bekas (yang merupakan 90% dari energi total) ke lingkungan.

- b. Mengurangi Beban Panas Eksternal

Menggantikan sumber energi primer (seperti boiler atau pemanas listrik) dengan energi yang didaur ulang dari proses itu sendiri.

2. Destilasi Berbasis Kompresor Uap *Vapor Compression Distillation* (VCD)

Teknologi VCD, juga dikenal sebagai Mechanical Vapor Recompression (MVR), adalah metode paling efektif dan efisien untuk mencapai penghematan energi pada destilasi. VCD adalah sebuah sistem pompa kalor (*heat pump*) yang menggunakan uap air sebagai fluida kerjanya sendiri.

Mekanisme Kerja VCD:

- a. Pengambilan Uap Bekas

Uap air bertekanan rendah yang telah melewati bahan baku di dalam ketel destilasi (*evaporator*) diisap oleh kompresor.

- b. Peningkatan Entalpi
Kompresor, digerakkan oleh energi mekanik (listrik), meningkatkan tekanan dan suhu uap. Peningkatan tekanan ini secara proporsional menaikkan titik jenuh kondensasi uap.
- c. Daur Ulang Panas
Uap yang telah terkompresi dan superpanas kemudian diarahkan ke sisi luar jaket ketel, berfungsi sebagai sumber pemanas (kondensor/reboiler). Di sini, uap panas melepaskan panas latennya ke fluida destilasi di dalam ketel untuk menghasilkan uap baru.
- d. Siklus Tertutup
Panas laten yang dilepaskan oleh uap terkompresi digunakan kembali. Dengan demikian, VCD hanya membutuhkan sedikit energi listrik untuk menggerakkan kompresor, bukan energi termal besar untuk boiler konvensional.

Keunggulan VCD:

- a. Efisiensi Tinggi
VCD dapat mengurangi konsumsi energi spesifik (SEC) hingga 50-70% dibandingkan sistem boiler tradisional, karena energi yang hilang hanya berupa kerugian sistem dan kerja kompresor (Dindorf & Skorek-Osikowska, 2016).
 - b. Stabilitas Proses
Kontrol yang ketat terhadap tekanan kompresor menjamin suhu destilasi yang sangat stabil, yang krusial untuk menjaga integritas dan kualitas minyak atsiri (kadar *Patchouli Alcohol*).
3. Teknologi Destilasi Hemat Energi Lainnya
- Meskipun VCD adalah yang paling relevan untuk destilasi uap, terdapat teknologi hemat energi lain dalam bidang destilasi industri:
- a. *Multi-Effect Distillation* (MED)
Menggunakan uap panas dari efek pertama untuk memanaskan efek kedua, yang beroperasi pada tekanan dan suhu lebih rendah. Efisiensi total dicapai dengan menggunakan panas yang sama secara berulang.

b. *Heat Pump Assisted Distillation (HPAD)*

Mirip VCD tetapi menggunakan fluida refrigeran terpisah untuk memindahkan panas dari kondensor ke reboiler. Cocok untuk pemisahan kimia dengan titik didih yang dekat (*low relative volatility*).

Secara keseluruhan, pengenalan dan adopsi VCD menjadi langkah maju yang signifikan dalam mewujudkan industri minyak atsiri yang lebih efisien, ekonomis, dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- API. (2018). API Standard 614: Lubrication, Shaft-Sealing, and Control-Oil Systems for Special-Purpose Applications. Washington, DC: American Petroleum Institute.
- Atta, M. S., Khan, H., Ali, M. A., Tariq, R., Yasir, A. U., Iqbal, M. M., ... & Krzywański, J. (2024). Simulation of vacuum distillation unit in oil refinery: operational strategies for optimal yield efficiency. *Energies*, 17(15), 3806. <https://doi.org/10.3390/en17153806>.
- ASHRAE. (2020). Standard 15: Safety Standard for Refrigeration Systems. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. (2022). Standard 147: Reducing the Release of Halogenated Refrigerants from Refrigerating and Air-Conditioning Equipment and Systems. Atlanta: ASHRAE.
- Baser, KHC, & Buchbauer, G. (2015). *Buku Pegangan Minyak Atsiri: Sains, Teknologi, dan Aplikasi*. CRC Press.
- Bejan, A. (2016). *Advanced Engineering Thermodynamics*. 4th Ed. Wiley.
- Bloch, HP, & Geitner, FK (2018). *Manajemen Mesin Praktis untuk Pabrik Proses*. Gulf Publishing.
- Bloch, H. P., & Geitner, F. K. (2019). *Machinery Failure Analysis and Troubleshooting*. 5th Ed. Elsevier.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2021). *Thermodynamics: An Engineering Approach*. 9th Edition. McGraw-Hill Education.
- Crane Co. (2018). *Flow of Fluids Through Valves, Fittings, and Pipe (Technical Paper No. 410)*.
- Crowl, DA, & Louvar, JF (2019). *Keselamatan Proses Kimia: Dasar-Dasar dengan Aplikasi*. Prentice Hall.
- Dindorf, W., & Skorek-Osikowska, A. (2016). Energy Efficiency and Potential for Heat Recovery in Distillation Systems. *Chemical Engineering Transactions*, 50, 481-486. (Menjelaskan prinsip dan efektivitas VCD/MVR sebagai metode pemulihan panas).
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. 4th Ed. Wiley.
- El-Dessouky, H., & Ettouney, H. (2021). *Fundamentals of Salt Water Desalination*. Elsevier.

- Guenther, E. (2013). *Minyak Atsiri: Sejarah, Asal Usul pada Tanaman, Produksi, Analisis*. D. Van Nostrand.
- Hinsch, T., et al. (2020). Advances in Cleaning-in-Place for Fouling Control in Heat Exchangers. *Journal of Food Engineering*, 275, 109866.
- Hosseini, R., et al. (2022). “Comparative Energy Analysis of Steam and Vapor Compression Distillation for Essential Oil Extraction.” *Renewable Energy*, 197, 1267–1279.
- Irawan, A., Ulfah, M., Rahmatika, S. D., & Putra, T. A. (2024). Pelatihan pembuatan semeru (balsem serai sarewu) dengan metode distilasi uap sederhana. *Jurnal SOLMA*, 13(3), 2224-2233. <https://doi.org/10.22236/solma.v13i3.16300>
- ISO (2015). *ISO 9001:2015 – Sistem Manajemen Mutu – Persyaratan. Organisasi Internasional untuk Standardisasi*.
- Kumar, S., et al. (2021). “Comparative Study on the Corrosion Behavior of SS201 and SS304 in Chloride Environments.” *Journal of Materials Engineering and Performance*, 30(9), 6821–6831.
- Li, Y., et al. (2024). “Optimization and Control of Mechanical Vapor Recompression Distillation Systems.” *Applied Thermal Engineering*, 245, 120935.
- Mannan, S. (2012). *Pencegahan Kerugian Lees dalam Industri Proses*. Elsevier.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (2020). *Unit Operations of Chemical Engineering*. 8th Ed. McGraw-Hill.
- McMillan, GK, & Considine, DM (2019). *Buku Pegangan Instrumen dan Kontrol Proses/Industri*. McGraw-Hill.
- Mistry, K., et al. (2020). “Performance and Energy Efficiency of Multi-Effect and Vapor Compression Distillation Systems.” *Desalination*, 490, 114529.
- Ogata, K. (2020). *Modern Control Engineering*. 6th Ed. Pearson.
- OSHA. (2022). *Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals (29 CFR 1910.119)*. U.S. Department of Labor.
- Perry, R. H., & Green, D. W. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 8th Edition. McGraw-Hill Education. (Sumber acuan data properti termodinamika dan panduan umum perancangan peralatan proses).

- Perry, R. H., & Green, D. W. (2019). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 9th Ed. McGraw-Hill.
- Puri, S. (2012). *Design and Optimization of Mechanical Vapor Compression (MVC) System*. LAP Lambert Academic Publishing. (Membahas detail perancangan, efisiensi, dan kontrol fluida dalam sistem kompresi uap).
- Smith, R. (2020). *Proses Kimia: Desain dan Integrasi (edisi ke-2)*. John Wiley & Sons.
- Sedriks, A. J. (1996). *Corrosion of Stainless Steels*. 2nd Ed. Wiley-Interscience.
- White, F. M. (2016). *Fluid Mechanics*. 8th Ed. McGraw-Hill.
- Zhao, J., et al. (2023). "Thermal Performance Analysis of Energy-Recycling Vapor Compression Distillation Units." *Journal of Cleaner Production*, 410, 137621.

BUKU AJAR

DESTILASI MINYAK ATSIRI

BERBASIS

KOMPRESOR UAP

ASPEK TEORI, PERANCANGAN DAN PENGGUNAAN

Buku ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan akademisi dan praktisi. Sebagai Buku Ajar, ia menyajikan landasan teori yang kokoh, mulai dari prinsip Termodinamika, Neraca Massa dan Energi, hingga metodologi Perancangan Komponen VCD (Kompresor dan Penukar Kalor). Sebagai Panduan Penggunaan, buku ini memuat Prosedur Operasi Standar (POS) sederhana, panduan troubleshooting, dan aspek Keamanan dan Keselamatan Kerja (K3) untuk memastikan pengoperasian alat berjalan aman dan optimal di lapangan.



IKAPI
IKATAN PENERBIT INDONESIA

CV. Tahta Media Group
Surakarta, Jawa Tengah
Web : www.tahtamedia.com
Ig : tahtamedia group
Telp/WA : +62 896-5427-3996

