

PENENTUAN DESAIN *TRAY* DAN *PLATE* PADA KOLOM DISTILASI UNTUK PEMISAHAN ALPHA TERPINEOL DARI TERPENTIN DENGAN KAPASITAS 4.500 TON/TAHUN

Alfida Bella Virnanda, Zakijah Irfin, Ariani

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

alfidatop@gmail.com ; [zakijah.irfin@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Menara distilasi memainkan peran vital dalam industri kimia untuk memisahkan campuran berdasarkan perbedaan titik didih komponen-komponennya. α -terpineol merupakan senyawa turunan dari α -pinene yang membutuhkan kemurnian tinggi untuk berbagai aplikasi industri. Oleh karena itu α -terpineol yang sudah dihasilkan perlu dilakukan distilasi lebih lanjut untuk mendapatkan kemurnian yang lebih tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain menara distilasi kolom untuk pemurnian α -terpineol dari terpentin dengan kapasitas 4.500 ton/tahun yang dimana difokuskan pada perhitungan *tray* dan *plate*. Metode perancangan yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada persamaan *Antoine* dan *Van der Waals* yang mana dilakukan untuk melakukan pendekatan dalam segi termodinamika. Pendekatan ini meliputi perhitungan keseimbangan materi, energi, desain *tray*, serta bejana luar. Proses perancangan dimulai dengan pengumpulan data awal seperti laju alir, tekanan operasi, dan temperatur. Perhitungan dilakukan menggunakan aplikasi *microsoft excel* untuk menentukan kondisi operasi pada *feed*, distilat, dan *bottom* yang diperoleh dari neraca massa. Spesifikasi menara distilasi yang dirancang meliputi penggunaan *tray* tipe *sieve* dengan bahan konstruksi *carbon steel SA-167 grade 10 type 310*. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan diameter kolom distilasi adalah 1,16 meter dengan *flooding velocity* sebesar 1,053 m/s dan area aktif sebesar 1,01 m².

Kata kunci: α -terpineol, desain *plate*, desain *tray*, kolom distilasi, perancangan kolom

ABSTRACT

Distillation tower plays a vital role in the chemical industry for separating mixtures based on the differences in the boiling points of their components. α -terpineol is a derivative of α -pinene, requires high purity for various industrial applications. Therefore, α -terpineol that has already been produced needs further distillation to achieve higher purity. This study aims to design a distillation column for the purification of α -terpineol from turpentine with a capacity of 4,500 tons per year, focusing on the calculation of trays and plates. The design method used in this study refers to the Antoine and Van der Waals equations, which are applied to approach the thermodynamic aspects. This approach includes calculations for material balance, energy balance, tray design, and outer vessel design. The design process begins with the collection of initial data, such as flow rate, operating pressure, and temperature. Calculations are performed using microsoft excel to determine the operating conditions for the feed, distillate, and bottom products, obtained from the mass balance. The specifications of the designed distillation tower include the use of sieve-type trays made of carbon steel SA-167 grade 10 type 310. Based on the calculations, the diameter of the distillation column is found to be 1.16 meters with a flooding velocity of 1.053 m/s and an active area of 1.01 m².

Keywords: α -terpineol, plate design, tray design, distillation tower, column design

1. PENDAHULUAN

Perancangan menara distilasi kolom multikomponen merupakan salah satu aspek krusial dalam bidang teknik kimia, khususnya dalam industri pemrosesan dan pemurnian bahan kimia. Menara distilasi ini digunakan untuk memisahkan campuran yang terdiri dari lebih dari dua komponen berdasarkan perbedaan titik didihnya. Proses distilasi sendiri adalah metode pemisahan yang paling umum digunakan dalam industri kimia karena efisiensinya dalam memisahkan komponen-komponen dengan kemurnian tinggi [1].

Metode penyulingan uap atau penyulingan uap langsung memiliki prinsip yang serupa dengan penyulingan air dan uap, namun air tidak berada di dalam ketel [2]. Dalam metode ini, uap yang digunakan adalah uap jenuh atau uap super panas dengan tekanan lebih dari 1 atmosfer. Menara distilasi kolom multikomponen dirancang untuk memaksimalkan pemisahan dengan mengoptimalkan beberapa parameter operasi seperti suhu, tekanan, tinggi kolom, jumlah tahap (*tray* atau *plate*), dan jenis pengisian (*packing*). Keberhasilan desain sangat bergantung pada pemilihan metode perhitungan yang tepat, yang mencakup keseimbangan materi dan energi, serta model termodinamika yang akurat [3].

Pendekatan termodinamika adalah dasar yang penting dalam merancang menara kolom distilasi karena memberikan pemahaman mendalam tentang kesetimbangan fase dan membantu dalam perancangan yang efisien dan ekonomis [4]. Pendekatan termodinamika membantu dalam memahami bagaimana perubahan suhu dan tekanan mempengaruhi distribusi komponen antara fase cair dan uap, yang esensial untuk mengatur kondisi operasi yang optimal. Data termodinamika digunakan untuk merancang berbagai aspek dari kolom distilasi, termasuk pilihan tipe *tray*, material konstruksi, dan pengaturan *tray spacing*, yang semuanya berkontribusi terhadap performa keseluruhan dari kolom [5].

Persamaan *Antoine* dan *Van der Waals* adalah persamaan yang sangat berguna dalam pendekatan ini karena kesederhanaan, ketersediaan data, dan kemampuan mereka untuk mengakomodasi non-idealitas dalam sistem campuran, yang memastikan perancangan yang lebih akurat dan andal [6]. Persamaan *Antoine* adalah salah satu persamaan yang paling sederhana dan praktis untuk menghitung tekanan uap suatu komponen pada berbagai suhu. Ini sangat berguna dalam perhitungan awal dan estimasi cepat. Sementara persamaan *Van der Waals* memperhitungkan volume molekul dan interaksi antar molekul, sehingga lebih akurat dibandingkan dengan hukum gas ideal untuk campuran non-ideal, terutama pada tekanan tinggi. Persamaan ini didasarkan pada prinsip-prinsip termodinamika fundamental dan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang sifat-sifat termodinamika campuran yang kompleks [4].

Salah satu pengaplikasian dari perancangan distilasi dapat ditemukan pada industri industri pemurnian. α -terpineol merupakan komponen yang diperjual belikan dalam kadar konsentrasi yang tinggi. Oleh karena itu α -terpineol yang sudah dihasilkan perlu dilakukan distilasi lebih lanjut untuk mendapatkan kemurnian yang lebih tinggi. Perancangan distilasi kolom pada pemurnian α -terpineol perlu banyak diperhatikan karena terdapat banyak merupakan golongan minyak atsiri [7]. Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan perhitungan desain distilasi kolom dengan tipe *sieve and tray* kolom. Menurut Iskandar [8] studi perhitungan desain distilasi kolom pada α -terpineol dari minyak terpenin dengan proses *terpin hydrate* didapatkan hasil produk α -terpineol hingga 97%. α -terpineol di sini nantinya akan menjadi produk bawah dikarenakan titik didihnya yang paling tinggi diantara

semua komponen yang terkandung dalam umpan. Etanol yang dihasilkan sebagai produk samping dari distilasi nantinya akan di distilasi ulang untuk dimurnikan sebelum di *recycle* untuk digunakan kembali [8]. Namun, masih belum adanya jurnal yang membahas secara rinci bagaimana perhitungan untuk desain *tray* dan *plate* pada kolom distilasi, sehingga perlu adanya pembahasan lebih rinci terkait dengan penentuan *tray* dan *plate* pada kolom distilasi.

Dalam perkembangan teknologi pemisahan kimia, perancangan kolom distilasi merupakan topik yang selalu relevan dan terus mengalami penyempurnaan. Jurnal ini menghadirkan suatu kajian yang inovatif mengenai perancangan kolom distilasi dengan menggunakan metode perhitungan yang mencakup perhitungan *plate* dan *tray* yang menggunakan pendekatan termodinamika *Antoine* dan *Van der Waals*. Pendekatan ini menjadi penting karena hingga saat ini, belum ada jurnal yang secara lengkap dan komprehensif membahas metode perhitungan tersebut.

Berdasarkan uraian diatas, perancangan *plate* dan *tray* pada distilasi kolom sangat penting dilakukan untuk memaksimalkan produk α -terpineol yang dihasilkan pada prarancangan pabrik kimia pembuatan α -terpineol dari terpentin dengan kapasitas 4.500 ton/tahun. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain menara distilasi kolom untuk pemurnian α -terpineol dari terpentin dengan kapasitas 4.500 ton/tahun yang dimana difokuskan pada perhitungan *tray* dan *plate*. Dengan adanya perancangan pabrik ini maka akan mendukung perekonomian nasional dengan mengurangi impor bahan baku dari luar negeri dan juga semakin banyak orang yang sadar bahwa pengolahan sumber daya alam mentah untuk konsumsi negeri lebih penting untuk nantinya di ekspor dibandingkan mengeksport bahan mentah dengan harga yang lebih rendah.

2. METODOLOGI PENELITIAN

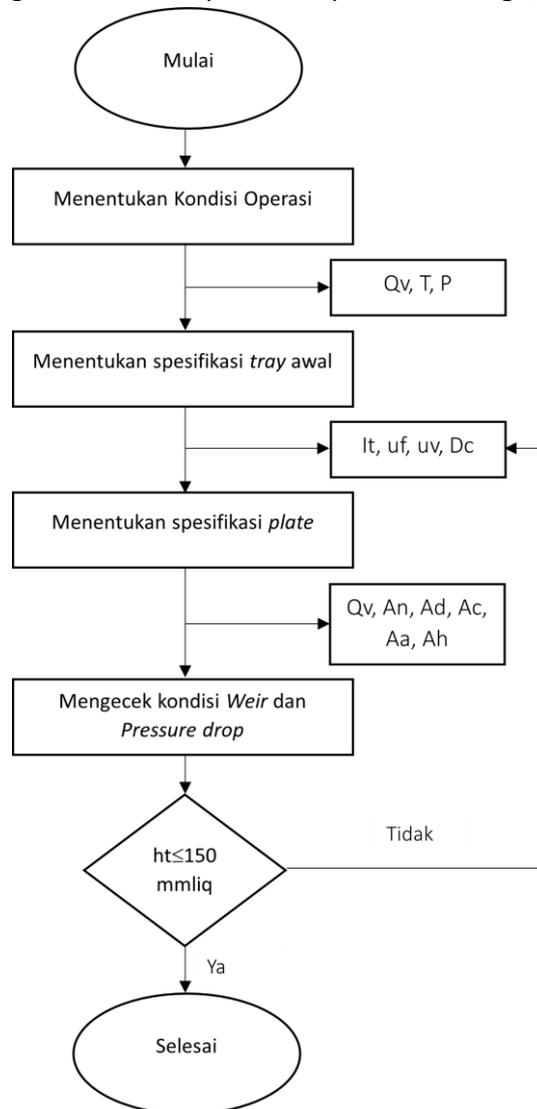
2.1. Pengumpulan Data

Untuk melakukan perhitungan desain kolom distilasi ada beberapa data awal yang harus diketahui atau dibutuhkan yaitu laju alir (*flow rate*), tekanan operasi, temperatur masuk alat, temperatur keluar alat, dan neraca massa pada distilasi. Semua data yang dibutuhkan dapat diambil dari data perhitungan neraca panas yang telah dihitung sebelumnya. Adapun teknik pengumpulan data yang digunakan ialah menggunakan acuan data dari jurnal dan *text book* yang membahas distilasi kolom dengan mengutamakan dasar perhitungan perancangan alat tersebut. Selain itu untuk memudahkan dalam menghitung data-data yang diperlukan maka digunakan aplikasi *microsoft excel*.

2.2. Langkah Perhitungan Desain *Tray* Kolom Distilasi

Perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui spesifikasi menara distilasi (D-310) untuk pemurnian α -terpineol dari terpentin dengan kapasitas 4.500 ton/tahun meliputi beberapa tahapan. Tahapan pertama yaitu menghitung desain awal dengan menghitung *tray spacing*. *Tray spacing* pada kolom distilasi adalah jarak antara *tray* yang berdekatan. Jarak ini penting dalam menentukan efisiensi dan kualitas proses distilasi [9]. Jarak *plate* yang biasa digunakan dari 0,15 hingga 1 m. Setelah diketahui *tray spacing*, kemudian dilakukan perhitungan *flooding velocity* (1). *Flooding velocity* (u_f) adalah kecepatan uap yang mengalir melalui *tray* distilasi Ketika uap mencapai batas maksimum yang dapat dihandle oleh *tray* [10]. Jika kecepatan uap melebihi kecepatan *flooding*, maka *tray* dapat mengalami *flooding* dan efisiensi proses dapat berkurang. Sementara *Vapor velocity* (u_v)

adalah kecepatan uap yang mengalir melalui tray distilasi. Kecepatan ini sangat penting dalam menentukan efisiensi proses distilasi. Jika kecepatan uap terlalu tinggi, maka tray dapat mengalami *flooding* dan efisiensi proses dapat berkurang [11].



Gambar 1. Skema Alur Perhitungan *Plate* dan *Tray*

$$uf = \frac{K}{3600} \left(\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v} \right)^{0,5} \quad (1)$$

uV : Maximum allowable superficial vapour velocity (ft/sec or m/sec)

ρ_L : Liquid density (kg/m³ or lb/ft³)

ρ_V : Vapour density (kg/m³ or lb/ft³)

K_1 : constant for vapor velocity

Setelah diketahui data untuk l_t , u_f , dan juga u_v , selanjutnya dilakukan untuk menghitung dimensi kolom pada distilasi pada Persamaan (2). Menentukan diameter kolom yang tepat untuk kolom distilasi memerlukan perhitungan yang tepat dan pertimbangan beberapa faktor [11].

$$D = \sqrt{\frac{4.V}{\pi.\rho v.uv}} \quad (2)$$

V : Volume (m³)

Tahap kedua yakni menentukan spesifikasi dari *plate* (*provisional plate design*). Perhitungan *plate* pada kolom distilasi ditujukan untuk menentukan spesifikasi lubang pada *plate* tersebut. *Hole*/lubang yang dibuat harus sesuai dengan kondisi yang ada pada saat proses berlangsung [19]. Selain untuk menentukan lubang, perhitungan spesifikasi *plate* juga penting untuk mengatur arah aliran sehingga aliran fluida tidak bergerak ke sembarang arah [16]. Area *netto* (3) merupakan area efektif di mana uap atau gas dapat mengalir melalui suatu *tray* atau *plate* tanpa terhalang oleh komponen fisik lainnya seperti *downcomer* atau struktur pendukung. Area *downcomer* (4) adalah bagian dari *tray* atau *plate* yang dialokasikan untuk aliran cairan yang turun dari *tray* di atasnya ke *tray* di bawahnya. Area penampang lintang (5) adalah luas total dari *tray* atau *plate* yang mencakup area aliran gas dan area *downcomer*. Area aktif (6) adalah bagian dari area penampang lintang (A_c) yang secara efektif digunakan untuk aliran gas atau uap setelah dikurangi area *downcomer*. Area lubang (7) adalah bagian dari area aktif yang merupakan total luas dari lubang-lubang pada *tray* atau *plate* melalui mana uap atau gas dapat mengalir [11].

$$A_n = \frac{Q_v}{uv} \quad (3)$$

$$A_d = 0,05A_n \quad (4)$$

$$A_c = \frac{A_n}{1-A_d} \quad (5)$$

$$A_a = A_c - 2A_d \quad (6)$$

$$A_h = 0,05A_a \quad (7)$$

Tahap terakhir ialah pengecekan kondisi pada *plate* dan *tray* (*checking condition*). Kondisi aliran yang tepat mempengaruhi efisiensi proses distilasi. Kondisi aliran yang tidak tepat dapat mengakibatkan proses yang tidak efisien dan mengkonsumsi energi lebih banyak. Pengecekan kondisi pada saat mendesain kolom distilasi terbagi menjadi dua yakni pengecekan kondisi *weir* dan juga pengecekan *pressure drop* [10]. Selain itu juga ada perhitungan *downcomer liquid backup* dan juga pengecekan *entrainment* untuk memastikan bahwa kondisi kolom distilasi dalam keadaan layak untuk dioperasikan [11]. Kondisi *weeping* (8) terjadi ketika cairan mulai mengalir melalui lubang-lubang *tray* karena kecepatan gas yang terlalu rendah untuk menahan cairan di atas *tray*. Hal ini dapat mengurangi efisiensi *tray* karena cairan yang seharusnya terdistribusi di atas *tray* malah bocor ke *tray* di bawahnya. Penurunan tekanan pada *tray* (9) adalah perbedaan tekanan yang terjadi saat gas atau uap mengalir melalui *tray*. Penurunan tekanan ini penting untuk menilai efisiensi *tray* dan mendesain *tray* yang mampu menahan tekanan operasi [11].

$$uh = \frac{[K2-0,90(25,4-D)]}{\rho v^{0,5}} \quad (8)$$

$$\Delta P = 9,81 \times 10^{-3} h t \cdot \rho L \quad (9)$$

Liquid backup di *downcomer* (10) adalah akumulasi cairan di bagian bawah *tray* (*downcomer*) yang dapat mempengaruhi distribusi cairan di *tray* di atasnya. Jika *backup* ini terlalu tinggi, bisa menyebabkan *flooding* [6].

$$h_b = (h_w + h_{ow}) + h_t + h_{dc} \quad (10)$$

h_w : Weir height (mm)
 h_{ow} : Weir liquid crest (mm)
 h_t : total plate pressure drop (mm liquid)
 h_{dc} : head loss in the downcomer (mm)

Entrainment adalah fenomena di mana tetesan cairan terbawa oleh aliran uap atau gas dari satu *tray* ke *tray* lainnya di atasnya. Ini dapat menyebabkan hilangnya efisiensi karena cairan yang seharusnya tertinggal di *tray* untuk interaksi dengan uap terbawa oleh aliran gas [11].

$$\%flooding = \frac{uv}{uf} \times 100\% \quad (11)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi Operasi

Metode penyulingan uap atau penyulingan uap langsung memiliki prinsip yang serupa dengan penyulingan air dan uap, namun air tidak berada di dalam ketel. Dalam metode ini, uap yang digunakan adalah uap jenuh atau uap super panas dengan tekanan lebih dari 1 atmosfer [2]. Kondisi operasi seperti suhu dan tekanan sangat penting dalam perhitungan kolom distilasi. Suhu mempengaruhi proses distilasi karena mempengaruhi titik didih komponen-komponen yang terkandung dalam campuran. Suhu yang tepat dapat memungkinkan proses distilasi yang efektif dan menghasilkan produk yang lebih baik [12]. Sedangkan tekanan mempengaruhi proses distilasi karena mempengaruhi keseimbangan fasa gas dan cair. Tekanan yang tepat dapat memungkinkan proses distilasi yang efektif dan menghasilkan produk yang lebih baik [13]. Pada perhitungan kolom distilasi, kondisi operasi pada setiap lokasi dapat berbeda dikarenakan perlakuan yang diberikan terhadap bahan. Namun pada perhitungan dimensi kolom dimensi kali ini ditetapkan bahwa tekanan pada kolom setara dengan tekanan atmosfer yakni 1 bar. Sementara suhu aktual didapatkan dari perhitungan neraca massa dengan pertimbangan koefisien distribusi setiap bahan dengan suhu pada *feed* yakni 110°C, distilat 117°C, dan *bottom* 106°C.

Perhitungan laju massa pada kolom distilasi adalah langkah penting dalam menentukan efisiensi dan kualitas proses distilasi. Dalam proses distilasi, laju massa yang tepat sangat berpengaruh terhadap kualitas dan kuantitas produk yang dihasilkan [14]. Dari perhitungan yang sudah dilakukan, didapatkan data laju alir setiap aliran di *up* dan *bottom* pada Tabel 1.

Laju alir distilat (*distillate flow rate*) memainkan peran penting dalam perhitungan laju massa pada kolom distilasi. Laju alir distilat menentukan jumlah massa yang mengalir keluar dari kolom distilasi sebagai produk distilat [14]. Dalam perhitungan laju massa, laju

alir distilat digunakan untuk menentukan laju alir massa total yang mengalir keluar dari kolom distilasi, serta untuk menghitung komposisi kimia produk distilat. Sementara laju alir *bottom* menentukan jumlah massa yang mengalir ke bagian bawah kolom distilasi sebagai produk sampingan. Dalam perhitungan laju massa, laju alir *bottom* digunakan untuk menentukan laju alir massa total yang mengalir ke bagian bawah kolom distilasi, serta untuk menghitung komposisi kimia produk sampingan [15].

Tabel 1. Laju alir massa setiap aliran *feed*, distilat, dan *bottom* pada kolom distilasi pemurnian terpineol

Aliran	Laju Alir	Satuan
<i>Feed (F)</i>	11,80378386	kg/s
Distilat (D)	6,960249071	kg/s
<i>Vapor rate (D)</i>	17,40062268	kg/s
<i>Liquid rate (D)</i>	10,44037361	kg/s
<i>Volume rate (D)</i>	0,008023365	m ³ /s
<i>Bottom (B)</i>	4,843534794	kg/s
<i>Vapor rate (B)</i>	0,157069536	kg/s
<i>Liquid rate (B)</i>	4,686465258	kg/s
<i>Volume rate (B)</i>	0,005392712	m ³ /s

3.2. Spesifikasi Tray dan Plate

Menentukan spesifikasi *tray* dan *plate* dalam kolom distilasi adalah tahap penting untuk memastikan efisiensi dan kualitas proses distilasi. Spesifikasi ini melibatkan pemilihan tipe *tray*, bahan konstruksi, dan parameter teknis lainnya yang akan mempengaruhi kinerja kolom distilasi. Tahap awal dalam menentukan spesifikasi *tray* dan *plate* pada suatu kolom distilasi harus ditentukan terlebih dahulu tipe *tray* dan bahan konstruksi yang akan digunakan. Dalam perancangan menara distilasi ini dipilih jenis *tray* dengan pertimbangan diameter kolom lebih dari 3 ft (0,91 m) [16]. Sedangkan jenis *tray* yang digunakan adalah *sieve tray*. Pemilihan *sieve tray* didasarkan pada beberapa pertimbangan yaitu, *sieve tray* memiliki *pressure drop* yang rendah, efisiensi yang tinggi, dan biaya perawatan yang relatif murah karena mudah dibersihkan [17]. *Sieve tray* sering digunakan karena kelebihanannya dalam operasi distilasi yang memerlukan efisiensi tinggi dan kemudahan dalam pemeliharaan [6].

Bahan konstruksi yang digunakan untuk *tray* adalah jenis *carbon steel SA-167 grade 10 type 310*. Bahan ini dipilih karena memiliki *allowable stress* yang besar, tahan terhadap korosi, dan memiliki struktur yang kuat. Pilihan bahan ini sejalan dengan yang disarankan dalam literatur teknik seperti yang ditulis oleh *Perry* dan *Green* pada 1997, di mana bahan konstruksi harus dipilih berdasarkan sifat mekanis dan ketahanannya terhadap korosi [10].

Perhitungan *plate* dan *tray* sangat penting dalam kolom distilasi karena mempengaruhi efisiensi dan kualitas proses distilasi. Perhitungan *plate* dan *tray* mempengaruhi efisiensi proses distilasi. Jika *plate* dan *tray* yang digunakan tidak sesuai dengan kondisi operasi, maka efisiensi proses dapat berkurang [11]. Oleh karena itu, perhitungan *plate* dan *tray*

yang tepat sangat diperlukan untuk menjamin efisiensi proses yang optimal. Dari perhitungan yang sudah dilakukan, didapatkan data *plate* dan *tray* pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi *tray* pada kolom distilasi pemurnian terpineol menggunakan persamaan 1,2 di metodologi penelitian

Spesifikasi	Top	Bottom	Satuan
<i>Tray spacing</i> (<i>It</i>)	0,5	0,5	m
<i>Liquid vapor flow factor</i> (<i>FLV</i>)	0,0228115	0,5099904	
<i>Flooding velocity</i> (<i>uf</i>)	1,3172929	0,3214583	m/s
<i>Vapor velocity</i> (<i>uv</i>)	1,0538343	0,2571666	m/s
Diameter kolom (<i>dc</i>)	1,1587023	0,4656433	m

Jarak *plate* yang biasa digunakan dari 0,15 hingga 1 m. Untuk kolom dengan diameter di atas 1 m, jarak antar pelat biasanya akan digunakan 0,3 hingga 0,6 m, dan 0,5 m dapat diambil sebagai perkiraan awal, hal ini akan direvisi, jika diperlukan ketika desain detail *plate* dibuat. Pada *trial* yang sudah dilakukan didapatkan nilai *tray spacing* untuk kolom distilasi pemurnian α -terpineol adalah 0,5 m.

Tabel 3. Spesifikasi *plate* pada kolom distilasi pemurnian terpineol menggunakan persamaan 3,4,5,6,7 di metodologi penelitian

Spesifikasi	Top	Bottom	Satuan
Laju alir volumetrik maksimum (<i>Qv</i>)	1,1106718	0,0437715	m ³ /s
Luas area netto (<i>An</i>)	1,053934	0,1702066	m ²
Luas penampang <i>downcomer</i> (<i>Ad</i>)	0,0526967	0,0085103	m ²
Luas penampang lintang menara (<i>Ac</i>)	1,1125624	0,1716675	m ²
<i>Active area</i> (<i>Aa</i>)	1,0125624	0,0716675	m ²
Luas <i>hole</i> (<i>Ah</i>)	0,0506281	0,0035834	m ²
Diameter kolom berdasarkan <i>net area</i>	1,1745984	0,4666404	m

Setelah diketahui data untuk *It*, *FLV*, *uf*, dan juga *uv*, selanjutnya dilakukan untuk menghitung dimensi kolom pada distilasi. Menentukan diameter kolom yang tepat untuk kolom distilasi memerlukan perhitungan yang tepat dan pertimbangan beberapa faktor. Dikarenakan adanya perbedaan kondisi pada *stripping* dan *enriching*, mengakibatkan diameter kolom dapat berbeda sesuai dengan kondisi operasi [6]. Pada perhitungan kali ini didapatkan diameter kolom untuk *up* yakni 1,2 m dan pada *bottom* yakni 0,5 m. Perbedaan yang cukup besar ini mempengaruhi kolom yang akan di desain, sehingga umumnya diambil angka terbesar untuk digunakan sebagai data aktual [6].

Perhitungan *plate* pada kolom distilasi ditujukan untuk menentukan spesifikasi lubang pada *plate* tersebut. *Hole*/lubang yang dibuat harus sesuai dengan kondisi yang ada pada saat proses berlangsung [18]. Selain untuk menentukan lubang, perhitungan spesifikasi *plate* juga penting untuk mengatur arah aliran sehingga aliran fluida tidak bergerak ke sembarang arah [11]. Spesifikasi *plate* meliputi beberapa aspek yang tercantum pada Tabel 3. Salah satu spesifikasi yang paling penting adalah *active area*, di mana *active area* di sini

menunjukkan area yang terjadi pertemuan antara fase uap dan juga liquid [11]. Lalu dengan data yang diperoleh, dilakukan perhitungan diameter kolom Kembali dengan berdasarkan pada *net area*. Nantinya nilai diameter kolom yang diperoleh akan di rata-rata dengan diameter kolom hasil dari perhitungan berdasarkan uv, sehingga didapatkan hasil akhir untuk diameter *top* sebesar 1,18 m dan diameter *bottom* sebesar 0,47 m.

3.3. Pengecekan Kondisi Aliran

Kondisi aliran yang tepat mempengaruhi efisiensi proses distilasi. Kondisi aliran yang tidak tepat dapat mengakibatkan proses yang tidak efisien dan mengkonsumsi energi lebih banyak. Pengecekan kondisi pada saat mendesain kolom distilasi terbagi menjadi dua yakni pengecekan kondisi *weir* dan juga pengecekan *pressure drop* [10]. Selain itu juga ada perhitungan *downcomer liquid backup* dan juga pengecekan *entrainment* untuk memastikan bahwa kondisi kolom distilasi dalam keadaan layak untuk dioperasikan [11]. Hasil perhitungan untuk pengecekan kondisi aliran dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengecekan *weir condition* pada kolom distilasi pemurnian terpeneol menggunakan persamaan 8,9,10,11 di metodologi penelitian

Spesifikasi	Top	Bottom	Satuan
Tinggi <i>weir</i> (hw)	0,04	0,04	m
Diameter <i>hole</i> (dh)	0,005	0,005	m
Tebal <i>plate</i> (lp)	0,003	0,003	m
Panjang <i>weir</i> (lw)	0,9044407	0,3593131	m
how	7,8217497	18,419373	mm liq
<i>Checking weeping rate</i> (uh)	10,244352	6,408674	m/s

Weir pada kolom distilasi adalah penghalang yang dipasang di pinggir dari *downflow* untuk membuat agar volume *liquid* yang tertampung di *tray* banyak, sehingga efektif terjadinya kontak antara *liquid* dan gas. *Weir* berfungsi sebagai pengatur volume *liquid* yang mengalir melalui *tray*, sehingga mempengaruhi efisiensi proses distilasi [4]. Kondisi *weir* yang tidak tepat dapat mengakibatkan *flooding*, yaitu kondisi di mana cairan yang mengalir melalui kolom distilasi melebihi batas maksimum yang dapat ditangani oleh kolom. Selain itu juga dapat menyebabkan *weeping*, yaitu kondisi di mana cairan yang mengalir melalui kolom distilasi tidak mencapai batas minimum yang diperlukan [11]. Pada Tabel 5 telah didapatkan data perhitungan untuk trial kondisi *weir* yang paling sesuai untuk kolom distilasi yang akan didesain.

Tabel 5. Pengecekan *pressure drop* pada kolom distilasi pemurnian terpeneol menggunakan persamaan 8,9,10,11 di metodologi penelitian

Spesifikasi	Top	Bottom	Satuan
<i>Residual head pressure drop</i> (hr)	13,995233	13,368722	mm Liq
<i>Dry plate drop</i> (hd)	13,753833	14,291075	mm Liq
ht	75,570815	86,07917	mm Liq
<i>Total pressure drop</i>	662,14483	789,56376	Pa

Penurunan tekanan pada pelat merupakan pertimbangan desain yang penting. Ada dua sumber utama dari *pressure drop* yakni akibat uap yang mengalir melalui lubang (*orifice loss*) dan karena tekanan statis cairan pada pelat [19]. Nilai maksimal dari *ht* sendiri ialah sebesar 150 mm *liquid*, sehingga diperlukan *trial* dari awal untuk mendapatkan nilai *ht* yang tidak melebihi standar. *Pressure drop* mempengaruhi penggunaan energi dalam proses distilasi. Jika *pressure drop* terlalu besar, maka penggunaan energi dapat berkurang dan mengkonsumsi energi lebih banyak [20].

Sementara *entrainment* dapat dihitung menggunakan persen *flooding* di mana nilai dari *vapor velocity* dan juga *flooding velocity*. Normalnya nilai *entrainment* tidak boleh lebih dari 0,1, nilai *entrainment* yang didapat dari perhitungan ialah sebesar 0,03162 [11].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang *plate* dan *tray* pada menara distilasi kolom untuk pemurnian α -terpineol dari terpentin dengan kapasitas 4.500 ton/tahun yang dimana difokuskan pada perhitungan *tray* dan *plate*. Metode perancangan yang digunakan mengacu pada persamaan *Antoine* dan *Van der Waals* untuk pendekatan termodinamika, yang mencakup perhitungan keseimbangan materi dan energi serta desain *tray* dan bejana luar. Hasil perancangan menunjukkan bahwa spesifikasi menara distilasi yang optimal meliputi penggunaan *tray* tipe *sieve* dengan bahan konstruksi *carbon steel SA-167 grade 10 type 310*. Diameter kolom distilasi yang dihasilkan dari perhitungan adalah 1,16 meter, dengan *flooding velocity* sebesar 1,053 m/s dan area aktif sebesar 1,01 m². Selain itu, pengecekan kondisi secara keseluruhan menunjukkan bahwa sistem telah memenuhi syarat operasi yang aman dan efisien, dengan nilai *ht* kurang dari 150 mm *liquid*. Dengan demikian, perancangan menara distilasi ini telah memenuhi semua kriteria desain yang ditetapkan, dan dapat diimplementasikan untuk proses pemurnian α -terpineol secara efisien dan efektif.

Disarankan untuk terus melakukan optimasi desain menara distilasi melalui simulasi dan uji coba untuk memastikan bahwa parameter operasi yang digunakan memberikan hasil terbaik dalam hal efisiensi energi dan kualitas produk.

REFERENSI

- [1] V. W. Anugrahani, "Perancangan Menara Distilasi Tipe Sieve Tray Column untuk Pemisahan Dipropilen Glikol dan Tripropilen Glikol pada Prarancangan Pabrik Propilen Glikol," Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2019.
- [2] W. Zamrudny dan C. H. Nirwana, "Studi Literatur Karakteristik Minyak Cengkeh (Clove Oil) dari Beberapa Metode Distilasi," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, hal. 561–569, 2021.
- [3] A. S. Suryandari dan R. Adawiyah, "Simulasi Pengaruh Tekanan Feed pada Proses Pemurnian Triasetin Berbasis Chemcad 7.1.," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 6, no. 1, hal. 30–35, 2020.
- [4] W. L. McCabe, J. C. Smith, dan P. Harriott, "Unit Operations of Chemical Engineering," 6th Edition. McGraw-Hill, 1993.
- [5] J. M. Smith, H. C. Van Ness, dan M. M. Abbott, "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics," McGraw-Hill Education, 2005.

- [6] C. J. Geankoplis, "Transport Processes and Unit Operations," *4th Edition*. Prentice Hall, 2003.
- [7] U. N. Khikmah dan H. Utami, "Studi Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi pada Sintesis α -Terpineol dari Terpentin dengan Menggunakan Katalis Asam Trikloroasetat," vol. 7, no. 2, 2019.
- [8] K. Iskandar dan S. Nurkhamidah, "Alpha Terpineol dari Minyak Terpentin dengan Proses Terpin Hydrate," *Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya*, 2020.
- [9] H. Hardjono, A.A. Anggrianto, dan A. R. Pratika, "Evaluasi Kolom Debutanizer (Flrs T-102) Di Unit RFCCU PT Pertamina (Persero) Refinery Unit III Plaju - Palembang," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 6, no. 1, 2020.
- [10] R. H. Perry dan D. W. Green, "Perry's Chemical Engineers' Handbook," *7th Editions*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1997.
- [11] R. J. F. Coulson, "Chemical Engineering Design," *Butterworth-Heinemann*, 2005.
- [12] R. K. Pandey, "The Importance of Temperature Control in Distillation," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 10, 2021.
- [13] W. L. McCabe, J. C. Smith, dan P. Harriott, "Operasi Teknik Kimia," *4th Edition*, *Airlangga*, vol. 2, 1993.
- [14] A. S. Suryandari dan R. Adawiyah, "Pengaruh Laju Alir Umpan Distilasi Pada Pemurnian Triacetin Menggunakan Simulasi Chemcad 7.1.5," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 6, no. 2, 2020.
- [15] B. I. Moehady, "Optimasi Kondisi Operasi Kolom Distilasi untuk Meningkatkan Konsentrasi Ethylene Dichloride (EDC) Umpan Furnace," *Jurnal Fluida*, vol. 12, no. 1, hal. 8–14, 2019.
- [16] S. M. Walas, "Chemical Proses Equipment," *Department of Chemical and Petroleum Engineering University of Kansas*, 1990.
- [17] A. I. Nurusyifa, "Spesifikasi Kolom Distilasi pada Prarancang Pabrik Bioetanol dari Mikroalga (*Chlamydomonas Reinhardtii*) Dengan Proses Simultaneous Saccharification Fermentation (SSF) dengan Kapasitas 8.800 Kl/Tahun," Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2019.
- [18] N. Lailiyah, "Fault Detection Pada Kolom Distilasi Petroleum," *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 8, no. 1, hal. 86 – 93, 2022
- [19] Y. E. H. Brownell, "Process Equipment Design," New York: *John Wiley and Sons*, 1959.
- [20] J. Wibisono, "Analisa Performa Kolom Distilasi (105D4) di Fatty Acid Plant-1 PT Domas Agroiinti Prima dengsan Simulasi Aspen Hysys," *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, vol. 1, no. 1, 2021.
- [21] D. Q. Kern, "Process Heat Transfer," *Mc. Graw Hill Book Company*, 1988.