

PRODUKSI MINYAK NILAM UNTUK "FIXATIVE AROMATHERAPY": STUDI KASUS DESAIN KONDENSOR DISTILASI UAP

(Patchouli Oil Production for Fixative Aromatherapy: A Case Study Design of Condenser for Steam Distillation)

Egi Agustian dan Anny Sulaswatty

Pusat Penelitian Kimia-LIPI, Kawasan Puspiptek Serpong 15314, Tangerang 15314, Indonesia
e-mail: egi002@lipi.go.id

Naskah diterima 18 Desember 2014, revisi akhir 10 Februari 2015 dan disetujui untuk diterbitkan 17 Februari 2015

ABSTRAK. Minyak nilam merupakan salah satu bahan baku yang penting untuk industri aromaterapi. Minyak nilam diperoleh dari daun nilam menggunakan distilasi uap. Salah satu bagian terpenting dari peralatan distilasi uap adalah kondensor. Permasalahan di lapangan adalah kondisi proses. Petani minyak nilam hanya berdasarkan pada pengalaman dan tidak menggunakan prinsip proses kimia yang mendasari proses distilasi uap tersebut sehingga proses yang dilakukan kurang efektif dan efisien. Pada penelitian ini telah dilakukan desain kondensor untuk proses distilasi uap daun nilam. Spesifikasi kondensor yang dirancang berbahan stainless steel, tipe shell and tube dengan air sebagai media pendinginnya. Tube berukuran ¼ in dengan panjang 500 mm sebanyak 24 buah. Shell berukuran 2,5 in dengan panjang 600 mm. Hasil yang diperoleh untuk efisiensi kinerja kondensor sebesar 94,51% dimana uji coba yang digunakan pada kondisi rasio batang dan daun sebesar 5:6 serta proses distilasi uap selama 4,5 jam. Semakin kecil energi yang digunakan, efisiensi kondensor akan semakin tinggi sehingga semakin tinggi juga rendemen yang didapat. Rendemen minyak nilam yang dihasilkan sebesar 2,39% dan kadar patchouli alkohol sebesar 35,65%.

Kata kunci: aromaterapi, desain kondensor, distilasi uap, fixative, minyak nilam

ABSTRACT. Patchouli oil is an important material for aromatherapy industries and made from patchouli leaves by steam distillation. The important parts of steam distillation is condenser. The problem is process of farmer's patchouli based on experience not used chemical process of steam distillation cause not effective and efficient. The study was designed of condensers on steam distillation for patchouli leaves. Specification of condenser type is shell and tube, stainless steel material and water as coolant. Tubing sized is ¼ inch with 500 mm of length and 24 pieces. Shell measuring 2.5 inch and 600 mm of length. The performance of condenser gave the efficiency at 94.51%. The process condition of ratio stems to leaves is 5:6 and 4.5 hours was considered ideal for steam distillation. The used of energy is lowest cause the efficiency condenser and yield will be higher. Patchouli oil yield of 2.39% and patchouli alcohol content is 35.65%.

Keywords: aromatherapy, condenser design, fixative, patchouli oil, steam distillation

1. PENDAHULUAN

Minyak nilam diperoleh dari distilasi uap daun nilam yang digunakan sebagai bahan pewangi dan penahan aroma wangi-wangian bahan pewangi lain sehingga bau wangi tidak cepat hilang dan

lebih tahan lama (fiksatif) dalam pembuatan bahan aromaterapi. Minyak nilam juga sebagai aditif untuk pewangi makanan (Donelian, *et.al.*, 2009 dan Deddy, *et.al.*, 2011). Dewasa ini, minyak nilam banyak dikembangkan ke arah produk obat-obatan dikarenakan minyak

nilam mengandung lebih dari 24 jenis *sesquiterpene*, yang berpotensi sebagai senyawa anti kanker, anti mikroba, anti *inflammatory*, antibiotik dan anti mikroba dan anti tumor (Deguerry, *et.al.*, 2006; Xiao, *et.al.*, 2011; dan Ramya, *et.al.*, 2013).

Dalam memperoleh kualitas minyak nilam yang bagus, sangat dipengaruhi oleh sistem distilasi. Sistem tersebut dibagi empat bagian, yaitu pembangkit uap (*boiler*), ketel distilasi, kondensor dan dekanter. Salah satu bagian terpenting dari peralatan distilasi uap adalah kondensor. Jenis dan desain kondensor akan mempengaruhi minyak hasil distilasi, baik dari segi rendemen maupun mutunya. Kondensasi yang tidak sempurna menyebabkan banyak air terikat dalam minyak atau sebagian uap tidak terkondensasi sehingga mengurangi rendemen minyak yang dihasilkan (Ketaren, 1985). Tipe-tipe kondensor pada distilasi uap untuk penyulingan minyak nilam sangat berpengaruh pada pertukaran panas (Chandra, 2002). Menurut Bernasconi, *et.al.* (1995) bahwa jenis alat penukar panas sirip merupakan sejumlah pipa yang dihubungkan seri atau paralel dipasang sirip-sirip untuk memperluas permukaannya. Pendinginan dilakukan dengan udara yang biasanya dihembuskan oleh ventilator melalui pipa-pipa bersirip tersebut. Dengan demikian cairan yang mengalir melalui pipa dapat didinginkan. Tambunan (2001) menjelaskan penukar panas pipa ganda dengan dua pipa yang mana salah satu pipa berdiameter lebih kecil dan berada di dalam pipa lainnya. Salah satu zat alir mengalir pada pipa dalam sedangkan zat alir lainnya mengalir pada ruang antara dinding pipa dalam dan pipa luar. Selain itu jenis kondensor lainnya adalah pipa penukar panas dililit menjadi sebuah paket spiral, dipasang dalam sebuah wadah berbentuk silinder (Bernasconi, *et.al.*, 1995). Kecepatan aliran uap yang keluar dari kondensor dipengaruhi oleh panjang, diameter dan jumlah pipa pendingin dalam kondensor (Qadariah, *et.al.*, 2007 dan Ketaren, 1985). Panjang dan jumlah tabung-tabung yang digunakan ditentukan oleh jumlah

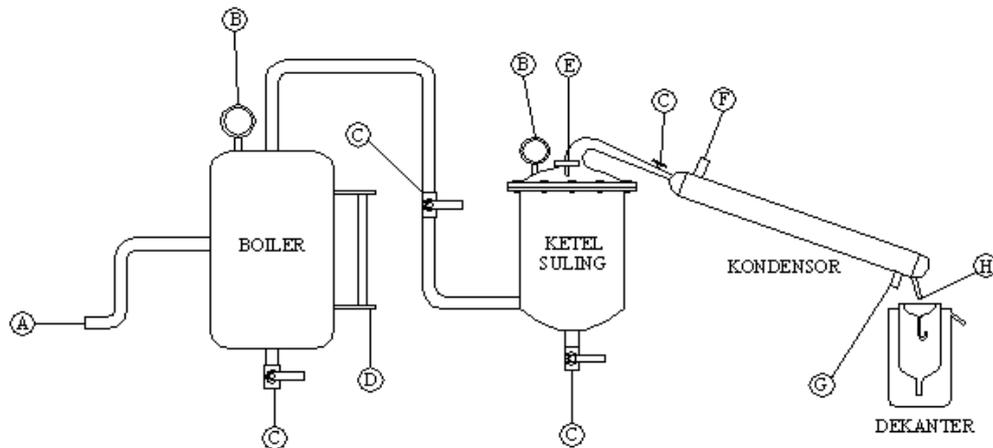
uap yang akan terkondensasi (Guenther, 1987). Menurut Ketaren (1985), kondensor dengan pipa berdiameter kecil menyebabkan aliran uap menjadi lambat, pengeluaran panas dari uap dianggap sempurna jika pipa pendingin mempunyai diameter yang lebar dan kemudian mengecil. Prasetyo (2006) merancang kondensor penyulingan minyak daun cengkeh ditinjau dari segi perpindahan panas dengan kondensor berbentuk tubular, Panjang pipa 0,44 m, jumlah pipa 16 buah. Selain itu, Hamka (2011) meneliti tentang kinerja dan evaluasi kelayakan prototipe separator minyak nilam dengan *loss* minyak sebesar 0,5% dari total minyak yang dihasilkan cukup baik dan layak digunakan.

Dari beberapa kondensor di atas mempunyai banyak kekurangan, salah satunya adalah luas perpindahan panas yang tidak optimal sehingga diperlukan kondensor yang berdimensi kecil tetapi mempunyai luas perpindahan panas yang besar. Tipe kondensor *shell and tube* merupakan salah satu alternatif tipe kondensor yang sangat relevan untuk penyulingan minyak atsiri. Penukar panas jenis *shell and tube* merupakan rangkaian dan susunan pipa-pipa (*tubes*) dengan cangkang (*shell*). Salah satu zat alir mengalir di dalam pipa sedangkan zat alir lainnya mengalir pada cangkang melalui bagian luar pipa-pipa tersebut (Tambunan, 2001).

Dalam perancangan dan pengujian peralatan untuk mengetahui pertukaran kalor didahului dengan pembuatan neraca massa dan neraca energi (Hermes, 2012). Perpindahan panas antara dua zat alir yang terpisah sekat penghantar dapat dinyatakan dengan persamaan (1), dimana Q=jumlah panas yang dipindahkan (W), A=luas permukaan perpindahan panas (m²), ΔT=selisih suhu antara kedua zat alir tersebut, U=koefisien perpindahan panas menyeluruh (W/m²K).

$$Q = UA\Delta T \dots\dots\dots (1)$$

Pada aliran air pendingin harus berlawanan arah dengan aliran uap air dan minyak sehingga kondensat yang akan



Ket.: A=pipa penyuplai air ke boiler, B=indikator tekanan, C=Kran, D=Penduga tinggi air dalam boiler, E=indikator suhu, F=air pendingin keluar, G=air pendingin masuk, H=kondensat keluar

Gambar 1. Skema sistem peralatan distilasi uap minyak nilam

keluar dari kondensator mempunyai suhu yang hampir sama dengan suhu air pendingin yang masuk ke dalam kondensator (Ketaren, 1985). Menurut McCabe, *et.al.* (1993), aliran searah jarang digunakan pada penukar kalor satu lintasan karena tidak akan dapat membuat suhu fluida yang satu mendekati suhu fluida yang keluar, dan kalor yang dipindahkan akan kurang dari yang dapat dipindahkan bila aliran itu lawan arah. Aliran searah digunakan pada beberapa lintas, terutama karena alasan mekanik, dan hal ini mempunyai pengaruh terhadap kapasitas dan pendekatan suhu. Perry (1999) berpendapat bahwa perbedaan suhu logaritmik untuk aliran berlawanan (*counter current flow*) menggunakan persamaan (2), dimana Δt_{LMTD} =perbedaan suhu logaritmik (K), T_1' =suhu uap masuk ke kondensator (K), T_2' = suhu kondensat yang keluar kondensator (K), T_1'' = suhu air yang masuk ke kondensator (K) dan T_2'' = suhu air keluar kondensator (K).

$$\Delta t_{LMTD} = \frac{(T_1' - T_2'') - (T_2' - T_1'')}{\ln(T_1' - T_2'') / (T_2' - T_1'')} \dots\dots (2)$$

Kinerja ketel suling dapat dinilai dari beberapa parameter seperti kerapatan daun nilam di dalam ketel, fenomena penetrasi uap, kemampuan

ketel mempertahankan panas dan ada atau tidaknya kebocoran pada ketel suling sedangkan untuk kinerja kondensator dinilai berdasarkan beberapa parameter seperti luas penampang perpindahan panas, banyaknya air pendingin yang digunakan, suhu destilat dan laju destilat (Jaroe, 2012). Petani minyak nilam masih menggunakan peralatan yang sederhana sehingga hasil yang didapat kurang efektif dan efisien, akibatnya kualitas minyak nilam menjadi di bawah standar yang disyaratkan. Pada penelitian ini dirancang alat kondensator pada prototipe sistem distilasi uap untuk minyak nilam serta mempelajari kinerja kondensator yang sudah dibuat dan menganalisis neraca energinya.

2. METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan adalah satu unit alat distilasi uap menggunakan metode uap langsung sesuai dengan Gambar 1. Bahan yang digunakan adalah daun nilam yang berasal dari pematang, Jawa Tengah. Kondensator dibuat dari bahan material SS 316. Bahan pendukung lain untuk analisa minyak adalah etanol 95%, indikator PP, KOH 0,1N, KOH 0,5N dan HCl 0,5N berasal dari *E-Merck* serta untuk analisa komponen patchouli alkohol menggunakan gas khromatografi.

Alat distilasi uap minyak nilam mempunyai spesifikasi yang diuraikan

pada Tabel 1. Sebelum diproses menggunakan alat distilasi uap, daun nilam dikecilkan ukuran partikelnya sehingga kepadatan penyulingan daun nilam sebesar 0,06 kg/L, sedangkan kadar air daun nilam sebesar 14,29% dan kadar minyak sebesar 3,05%.

Tabel 1. Spesifikasi peralatan distilasi uap

No.	Peralatan	Spesifikasi
1.	Boiler	- Merk RBJ 4-250, J.G Merckens, 220Volt, 16A - Tekanan uap 20 Bar, Max suhu 214°C
2.	Ketel suling	- Bahan SS 304, Volume 16,5 liter - Diameter 256 mm, tinggi 320 mm, tebal 2 mm. - Sambungan ketel ke kondensor berbentuk leher angsa diameter 40 mm dan panjang 9 mm - Dinding ketel dilengkapi dengan isolator - Kemiringan leher angsa 20 derajat
3.	Dekanter	- Bahan gelas dengan bentuk annulus - Tabung gelas dalam diameter 95 mm, tinggi 130 mm - Tabung gelas luar diameter 120 mm, tinggi 245 mm - Corong gelas diameter 60 mm, tinggi 120 mm - Gelas piala diameter 95 mm, tinggi 130 mm

Tahapan-tahapan dalam melakukan penelitian ini adalah tahap 1 merupakan pembuatan kondensor meliputi perancangan dan kontruksi alat. Asumsi yang digunakan dalam perancangan kondensor adalah suhu air masuk kondensor 27°C, suhu air keluar kondensor 37°C, suhu uap masuk kondensor 100°C dan suhu destilat yang dihasilkan 30°C. Tahap 2 adalah uji kinerja kondensor menggunakan daun nilam dengan variabel suhu, dimana waktu proses distilasi 4,5 jam. Adapun kondisi operasi distilasi uap yang digunakan dengan cara peningkatan tekanan secara bertahap sesuai dengan

metode yang digunakan oleh Chandra (2002). Satu jam pertama distilasi uap dilakukan pada tekanan 0 kg/s² (*pressure gauge*), satu jam kedua dilakukan dengan tekanan 0,5 kg/s², satu jam ketiga dilakukan pada tekanan 1 kg/s² dan satu setengah jam terakhir dilakukan pada tekanan 1,5 kg/s². Berat daun nilam yang disuling sebesar 660,1 g (perbandingan daun : batang = 6 : 5). Parameter yang diamati selama proses distilasi uap adalah volume dan berat minyak nilam yang dihasilkan, debit air pendingin, konsumsi air pendingin, suhu, tekanan di dalam ketel dan dalam pembangkit uap. Tahap 3 merupakan tahapan pemisahan antara minyak dan air, dan analisa produk minyak nilam yang didapat sesuai SNI 06-2385-1998.

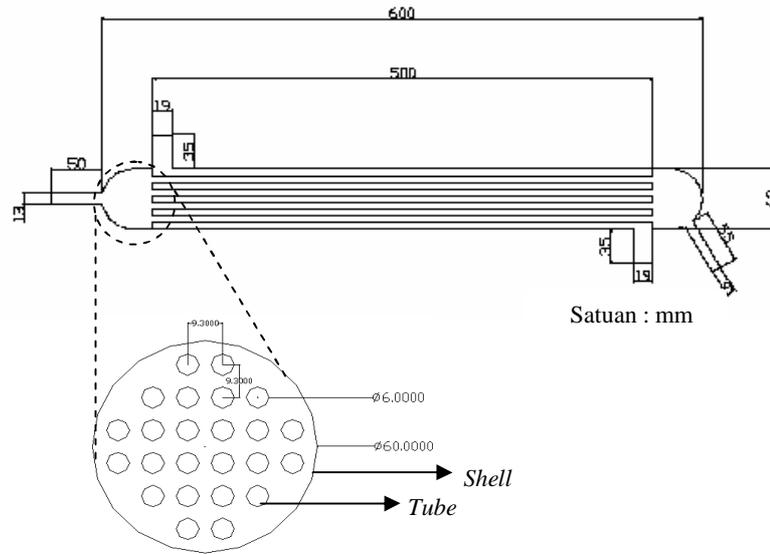
Efisiensi energi yang terjadi selama proses distilasi uap daun nilam menggunakan Persamaan (3), (4) dan (5). Kehilangan energi ketel suling menggunakan persamaan Newton dimana Q_t =panas yang hilang melalui tutup ketel suling (kJ), h =koefisien konveksi udara lingkungan (W/m²K), A_t =luas permukaan luar tutup ketel (m²), T_{ot} =suhu dinding luar tutup ketel (K), T_u =suhu udara lingkungan (K). (Kamil dan Pawito, 1983).

$$Q_t = hA_t(T_{ot} - T_u) \dots\dots\dots (3)$$

Nilai h dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (4) dimana nilai N_{Nu} =angka *Nusselt*, k =konduktivitas panas udara lingkungan (W/mK), D_t =diameter tutup ketel suling (m) (McCabe, 1999). Sedangkan efisiensi kondensor dihitung dengan menggunakan Persamaan (5). Adapun data luas untuk beberapa bagian ketel distilasi dapat dilihat pada Tabel 2.

$$h = \frac{N_{Nu} \times k}{D_t} \dots\dots\dots (4)$$

$$Efisiensi\ kondensor = \left(\frac{\text{energi yang dilepaskan oleh uap}}{\text{energi yang diserap oleh air pendingin}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$



Gambar 2. Desain penampang samping dan tata letak tube pada kondensor

Tabel 2. Data luas bagian ketel alat distilasi uap

No.	Bagian Alat	Luas (cm ²)
1.	Dinding ketel suling	259,2857
2.	Dasar ketel suling	55
3.	Tutup ketel	53,0357
4.	Pipa penghubung ketel dengan kondensor 1	8,8

Tabel 3. Spesifikasi kondensor hasil perancangan

No	Uraian	Spesifikasi
1.	Panjang kondensor	60 cm, material SS 316
2.	Panjang tube	50 cm, material SS 316
3.	Jumlah tube	24 buah
4.	Jenis pitch	Square pitch
5.	Diameter dalam shell	6,35 cm
6.	Diameter luar tube	¼ in BWG 22
7.	Jumlah phase	1

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

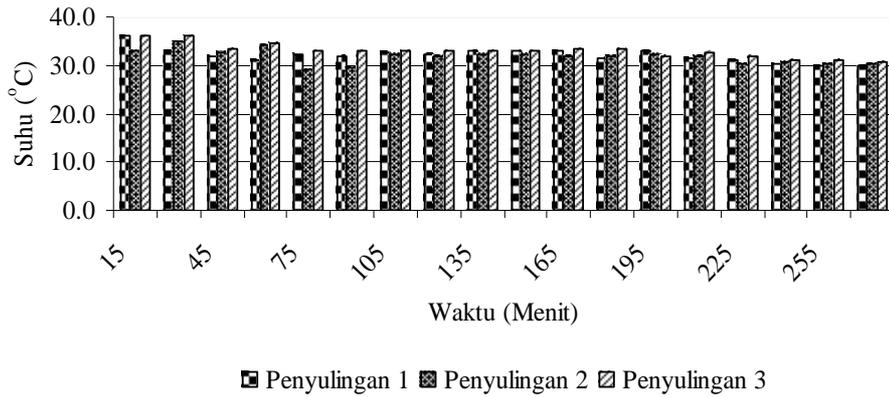
Rancangan dan Kontruksi Kondensor

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan Persamaan (3), kalor yang dapat dikondensasi oleh kondensor adalah sebesar 8658,8714 Btu/jam, sedangkan laju alir air pendingin yang diperlukan adalah 60,5616 cm³/s. Laju alir air pendingin ini jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan laju alir pendingin yang tersedia. Perbedaan suhu logaritmik untuk rancangan kondensor sebesar 19,7075°C. Luas pindah panas yang didapat sebesar 2,5666 ft². Sedangkan tube yang digunakan merupakan tube dengan diameter luar ¼ in. Luas permukaan luar tube (OD=¼ in) setiap 1 ft adalah 0,0665 ft²/ft sehingga panjang total tube yang diperlukan adalah 39,1847 ft. Panjang tube pada kondensor didesain sepanjang 500 mm atau 1,6404 ft berjumlah 24 buah. Spesifikasi kondensor hasil rancangan tertera pada Tabel 3.

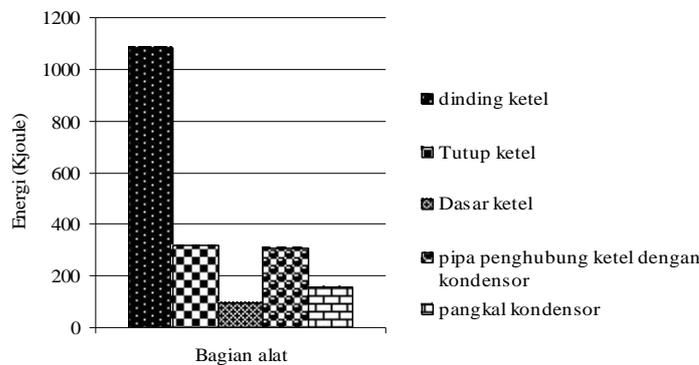
Pada Gambar 2 dapat dilihat hasil desain kondensor pada penampang samping sesuai dengan spesifikasi Tabel 3. Selain itu, Gambar 2 juga menyajikan tata letak tube dilihat pada penampang atas. Di dalam penyusunan tube digunakan jenis bujur sangkar (*square pitch*) karena jenis ini dapat menurunkan tekanan yang lebih rendah pada sisi shell dibandingkan dengan susunan segitiga.

Uji Kinerja Kondensor Menggunakan Daun Nilam Dengan Variasi Suhu

Selama proses distilasi uap, suhu ruangan diukur secara periodik dengan menggunakan termometer ruang yang memiliki ketelitian 0,01. Suhu rata-rata air yang masuk ke kondensor adalah 28,27°C dan suhu rata-rata kondensat selama proses



Gambar 3. Histogram perubahan suhu kondensat terhadap waktu proses distilasi uap



Gambar 4. Histogram perbandingan energi rata-rata yang hilang terhadap bagian alat

distilasi uap menggunakan daun nilam sebesar 32,27°C. Perubahan profil suhu terhadap waktu proses distilasi uap dapat terlihat pada Gambar 3.

Pada Gambar 3 menerangkan perubahan suhu terhadap lamanya proses distilasi uap minyak nilam. Pada awal proses distilasi uap didapat suhu kondensat masih tinggi yaitu sebesar 36°C. Hal ini dikarenakan belum konstannya laju alir uap yang masuk ke dalam ketel dan laju alir air pendingin yang masuk ke kondensor. Suhu kondensat pada menit-menit berikutnya hanya berkisar 32°C dimana peningkatan tekanan tidak mempengaruhi suhu kondensat. Suhu tersebut relatif konstan sampai akhir penyulingan, bahkan cenderung menurun pada akhir penyulingan. Hal ini dikarenakan pada akhir penyulingan kandungan minyak pada setiap gram uap semakin sedikit sehingga kemampuan kondensor untuk mendinginkan uap semakin baik. Pada uji coba dengan daun

nilam tersebut suhu kondensat mencapai 32°C pada laju kondensat 0,6 ml/s.

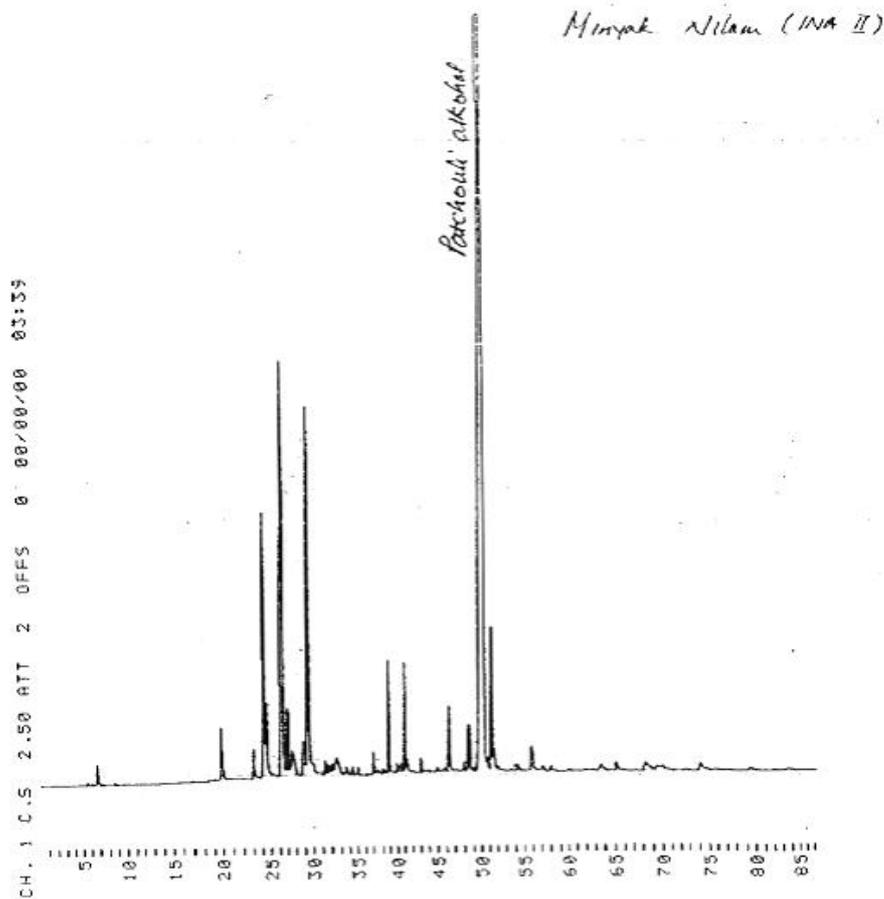
Suhu rata-rata air yang keluar kondensor pada penyulingan pertama mencapai 30,5°C, sedangkan pada penyulingan kedua mencapai 31,7 dan 31,3°C pada penyulingan ketiga. Perbedaan suhu rata-rata ini dikarenakan perbedaan suhu air pendingin yang masuk ke kondensor dan laju alir air pendingin yang berbeda. Penyulingan pertama dan ketiga pada awal penyulingan suhu air pendingin keluar kondensor meningkat mencapai 32°C. Hal ini dikarenakan laju kondensat yang lebih tinggi sedangkan penyulingan kedua hanya 30,6°C karena laju kondensatnya lebih rendah.

Efisiensi Kondensor Pada Proses Distilasi Uap Daun Nilam

Pengujian Efisiensi kondensor merupakan salah satu faktor utama dalam menentukan proses distilasi uap daun nilam untuk mendapatkan proses yang baik. Energi yang hilang dari sistem

Tabel 4. Energi rata-rata yang hilang pada bagian distilasi uap

No.	Bagian ketel	Jumlah energi yang hilang (kJ)	Energi yang hilang per cm ² (kJ)	Kontribusi kehilangan energi pada ketel (%)
1.	Dinding ketel	1082,0452	4,1732	55,2724
2.	Tutup ketel	316,1196	53,0357	16,1478
3.	Dasar ketel	92,8494	1,6882	4,7429
4.	Pipa penghubung ketel dengan kondensor	308,0026	8,3077	15,7332
5.	Pangkal kondensor	158,6439	4,9488	8,1037
	Total	1957,6606	72,1535	100,0000



Gambar 5. Kromatogram gas kromatografi minyak nilam

distilasi uap ke lingkungan dapat diperoleh dengan cara menghitung suhu rata-rata pada setiap titik yang diamati setiap bagian ketel yaitu dinding ketel, tutup ketel, dasar ketel, pipa penghubung ketel dengan kondensor dan pada pangkal kondensor sebelum terjadi pertukaran panas dengan air pendingin. Gambar 4 menunjukkan

perbandingan energi yang hilang pada tiap bagian alat distilasi uap.

Energi rata-rata yang hilang paling besar adalah pada dinding ketel. Hal ini dikarenakan dinding ketel memiliki luas penampang yang paling besar. Antara tutup ketel dengan dasar ketel memiliki luas yang hampir sama tetapi energi yang

Tabel 5. Perbandingan mutu minyak nilam hasil distilasi uap dengan spesifikasi persyaratan mutu minyak nilam berdasarkan SNI 06-2385-1998

No.	Parameter	Hasil Distilasi Uap	Minyak Nilam sesuai SNI-06-2385-1998
1.	Warna	Kuning kecoklatan	Kuning muda sampai coklat tua
2.	Bobot Jenis 20 ⁰ C/20 ⁰ C	0,979	0,943-0,983
3.	Indeks Bias 25 ⁰ C (ⁿ D ²⁵)	1,5093	1,504-1,514
4.	Bilangan Asam	3,69	maks 5,0
5.	Bilangan Ester	8,67	maks 10,0
6.	Kelarutan dalam alkohol 90%	larutan jernih dalam perbandingan 1:1-1:10	larutan jernih dalam perbandingan 1:1-1:10
7.	Viskositas (cP)	23,49	-
8.	Kadar patchouli alkohol (%)	35,65	30

hilang pada kedua bagian ini berbeda. Kehilangan energi pada tutup ketel lebih besar dikarenakan pada tutup ketel tidak di beri lapisan isolator dan adanya pergerakan uap ke atas sehingga suhu tutup ketel lebih tinggi dibandingkan dengan suhu dasar ketel. Kehilangan energi melalui pipa penghubung ketel dengan kondensor juga cukup tinggi, hal ini disebabkan pipa penghubung tidak dilapisi isolator. Nilai energi dari setiap bagian alat tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Isolator sangat berpengaruh untuk mengurangi kehilangan panas. Hal ini dibuktikan dengan kehilangan energi per cm² pada dinding ketel hanya 4,1732 kJ, pada dasar ketel hanya 1,6882 kJ. Nilai ini cukup kecil bila dibandingkan dengan tutup ketel yang mencapai 53,0357 kJ yang tidak diberi lapisan isolator.

Dari Persamaan (5) didapat efisiensi kondensor dengan panas yang dilepas sebesar 9,753 kg uap adalah 25615,0132 kJ, sedangkan energi yang diserap pendingin adalah 24208,8276 kJ. Jadi efisiensi kondensor untuk mengkondensasikan kondensat hingga mencapai suhu 32,27°C adalah 94,51%, dimana debit air pendingin rata-rata adalah 0,1223 l/s. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi efisiensi proses, semakin tinggi juga rendemen yang didapat.

Analisa Produk Minyak Nilam

Rendemen rata-rata minyak nilam sebesar 2,39%. Sedangkan kandungan

patchouli alkohol didapat 35,65% yang dapat dilihat pada kromatogram gas kromatografi pada Gambar 5. Dari analisa minyak nilam menunjukkan bahwa minyak nilam yang didapat sudah sesuai dengan yang disyaratkan oleh Standar Nasional Indonesia. Perbandingan mutu minyak nilam hasil distilasi uap dengan spesifikasi mutu minyak nilam berdasarkan SNI 06-2385-1998 disajikan dalam Tabel 5.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa desain kondensor yang dirancang bertipe *shell and tube* dengan penyusunan *tube* berjenis bujur sangkar (*square pitch*), satu lintasan yang efisien untuk produksi minyak nilam menggunakan distilasi uap dengan aliran air pendingin dan uap *counter current* menghasilkan efisiensi kinerja yang tinggi yaitu sebesar 94,51%. Semakin tinggi efisiensi kondensor yang dihasilkan, semakin kecil energi yang dikeluarkan sehingga rendemen yang didapat akan semakin tinggi. Adapun rendemen minyak nilam yang didapat adalah sebesar 2,39% dengan kandungan komponen patchouli alkohol sebesar 35,65%. Secara keseluruhan sifat fisik dan kimia minyak nilam yang dihasilkan sudah sesuai dengan standar SNI-06-2385-1998.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. 1998. *Minyak Nilam*. SNI 06-2385-1998. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

- Bernasconi, G., Gerster, H., Hauser, H., Stauble, H., & Schneiter, E. (1995). *Teknologi Kimia Bagian 2. Terjemahan Lienda Handoyo. Pradnya Paramita. Jakarta.*
- Chandra, Real. (2002). *Perekayasaan Stasiun Uji Proses Penyulingan Minyak Atsiri*. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Deddy, K.W., Mohamad, E.Y., Hermawan, D.A., & Yayang, A.S. (2011). Pemanfaatan minyak goreng bekas untuk pemisahan patchouli alkohol minyak nilam dengan distilasi ekstraktif. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Perjuangan"*, Yogyakarta, F.06-1, pp.1-6.
- Deguerry, F., Pastore, L., Wu, S., Clark, A., Chappell, J., & Schalk, M. (2006). The diverse sesquiterpene profile of patchouli, *Pogostemon cablin*, is correlated with a limited number of sesquiterpene synthases. *Archives of biochemistry and biophysics*, 454(2), 123-136.
- Donelian, A., Carlson, L. H. C., Lopes, T. J., & Machado, R. A. F. (2009). Comparison of extraction of patchouli (*Pogostemon cablin*) essential oil with supercritical CO₂ and by steam distillation. *The Journal of Supercritical Fluids*, 48(1), 15-20.
- Guenther, E. (1987). Alih Bahasa Ketaren. 1988. *Minyak Atsiri Jilid I. Direktorat Pendidikan Tinggi Departemen P dan K. Jakarta.*
- Hamka S.N. (2011), *Uji Kinerja dan Evaluasi Kelayakan Prototipe Separator Penyulingan Nilam*. Skripsi. Fateta. IPB, Bogor.
- Hermes, C. (2012). Thermodynamic Design of Condenser and Evaporator: Thermodynamic Design of Condenser and Evaporators: Formulation and Applications. *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*. Paper 1161. Retrieved 20 Mei 2014, <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/1161>.
- Jaroe, (2012, Mei 16), Uji Kinerja Alat Penyulingan Minyak Nilam, Retrieved 16 Mei 2012 dari <http://jaroe10.blogspot.com/2012/05/uji-kinerja-alat-penyulingan-minyak.html>.
- Kamil, S. & Pawito. (1983). *Termodinamika dan Perpindahan Panas*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Ketaren, S. (1985). *Pengantar Teknologi Minyak Atsiri*. Jakarta: Balai Pustaka.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (1993). *Unit Operation of Chemical Engineering*. 5th Ed. New York: McGraw-Hill.
- Perry, R. H. (1999). *Perry's Chemical Engineer's Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Qadariyah, L., Mahfud, Judaningsih, Y.B. Ambarwati & A.A. Novianti. (2007). Pengaruh Waktu dan Laju Pemanasan Pada Destilasi Ekstraktif Daun Nilam. *Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia 2007*. Surabaya. 15 November. pp. SP23-1 – SP-7.
- Ramya, H., Palanimuthu, V. & Dayanandakumar, R. (2013). Patchouli In Fragrances-Incense Stick Production From Patchouli Spent Charge Powder. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 15(1): 187-193.
- Prasetyo, B.T. (2006). *Perancangan Kondensor Penyulingan Minyak Daun Cengkeh*. Thesis. University of Muhammadiyah Malang (UMM), Retrieved 30 September 2012, http://eprints.umm.ac.id/13341/1/Perancangan_Kondensor_Penyulingan_Minyak_Daun_Cengkeh.pdf.
- Tambunan, Armansyah H. (2001). *Teknik Pendinginan*. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB, Bogor.
- Xiao-Cen Li, Qing-Wen Zhang, Zhi-Qi Yin, Xiao-Qi Zhang & Wen-Cai Ye. (2012). Preparative Separation of Patchouli Alcohol from Patchouli Oil Using High Performance Centrifugal Partition Chromatography. *Journal of Essential Oil Research*, 23(6), 19-24.