

## SISTEM INFORMASI TEKNOLOGI PENYULINGAN MINYAK ATSIRI: KASUS PENYULINGAN MINYAK NILAM

Agus Supriatna Somantri

*Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian*

### ABSTRAK

Produk minyak atsiri sebagai komoditi ekspor mempunyai peluang pasar dunia yang cukup besar meskipun menghadapi persaingan dan hambatan non-tarif dalam perdagangan dunia saat ini. Hal ini menuntut dilakukannya kebijakan untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi agroindustri minyak atsiri tersebut secara terpadu dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menyediakan basis data sistem penyulingan minyak atsiri khususnya minyak nilam pada berbagai skala usaha yang dapat dipergunakan sebagai input dalam sistem perekayasa dan sistem usaha minyak nilam. Metode yang digunakan adalah metode analitik, numerik dan ekonometrik dengan bantuan data-data berupa data teoritis dan data empiris. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model matematik yang dibentuk untuk keperluan prediksi dan optimasi sistem penyulingan minyak atsiri khususnya minyak nilam telah mampu memberikan informasi yang integrative tentang prediksi dimensi alat, harga alat, lama penyulingan, rendemen, debit distilat, kebutuhan air pendingin dan konsumsi bahan bakar. Proses penyulingan nilam secara teoritis akan berlangsung selama 8 jam untuk mendapatkan rendemen rata-rata 2.54 %. Jumlah minyak yang dihasilkan untuk setiap proses penyulingan akan berbanding lurus terhadap kapasitas penyulingannya. Hasil analisis ekonomi usaha penyulingan minyak atsiri pada berbagai skala usaha menunjukkan bahwa harga alat penyuling pada pengembangannya berbanding lurus terhadap besarnya kapasitas penyulingan. Sedangkan harga minyak nilam minimal yang bisa memberikan keuntungan mengikuti persamaan  $y = 3 \times 10^6 x^{-0.4693}$  ( $r^2 = 0.9891$ ) jika menggunakan bahan bakar minyak tanah dan  $y = 3 \times 10^6 x^{-0.4717}$  ( $r^2 = 0.9897$ ) menggunakan bahan bakar dari kayu bakar. Seluruh hasil penelitian di atas dikemas dalam sebuah system informasi yang interaktif berbasis multimedia.

**Kata kunci :** sistem informasi, penyulingan, minyak atsiri, nilam

### ABSTRACT

Case of patchouly oil distillation. Essential oil product as an export commodity has always been possessed an increasing world market in spite of facing hard competition and non-tariff barrier in the world trade; therefore there is a need to formulate a policy and an effort to increase the productivity and efficiency of integrated and sustainable essential-oil agroindustry. This research aimed at providing the database of essential oil distillation system especially for the patchouly oil at various economic scale. This database can be used as an input for engineering design system as well as for patchouly oil agroindustry system. The methods used were analytical, numerical and econometrical which were supported by empirical and theoretical data. The research results showed that mathematical model constructed for prediction and optimization of essential oil distillation especially for patchouly-oil had the capability to generate integrative information of predictive equipments dimensions, rate of distillation and energy consumption. Based on the mathematical model, theoretical patchouly oil distillation time was 8 hours in order to produce average yield 2.54 %. The quantity of the patchouly oil for each distillation process had positive correlation with the distillation capacity. Economical analysis on essential oil distillation at various economic scale showed that the cost of distillation equipment at development level had positive correlation with the distillation capacity. The minimum price of patchouly oil which was still profitable followed the equation  $y = 3 \times 10^6 x^{-0.4693}$  ( $r^2 = 0.9891$ ) if kerosene used as energy source while if woods used as energy source, the equation was  $y = 3 \times 10^6 x^{-0.4717}$  ( $r^2 = 0.9897$ ). These equations matched the economical principle stated that the higher production, the smaller production cost. All of the result of the research was packed by multimedia system.

**Keywords:** information system, distillation, essential oil, patchouly.

## PENDAHULUAN

Minyak atsiri adalah bahan aromatik alami yang berasal dari tumbuh-tumbuhan. Di Indonesia banyak dibudidayakan tanaman yang mengandung minyak atsiri ini seperti akar wangi, jahe, adas, salam, nilam, pala, cengkeh, kenanga, melati, rose, dan lain-lain. Untuk memperoleh minyak atsiri dari bahan asalnya dilakukan dengan cara penyulingan (distilasi).

Salah satu produk minyak atsiri terbesar dari Indonesia adalah minyak nilam. Minyak nilam seringkali digunakan dalam berbagai industri seperti parfum, kosmetik dan sabun karena ciri utama minyak nilam adalah fiksatif terhadap bahan pewangi lainnya (Anon, 1986). Selain sebagai sumber minyak atsiri, daun nilam juga bias digunakan sebagai penolak (repelen) serangga (Sastroamidjojo, 1988; Dummond, 1960).

Sampai saat ini telah banyak dilakukan penelitian tentang penyulingan minyak atsiri terutama dikaitkan dengan perlakuan bahan sebelum dan selama proses penyulingan seperti perlakuan tekanan kerja dalam distilator. Hal ini dilakukan untuk memperoleh rendemen yang tinggi. Dahlan (1989), telah melakukan penyulingan minyak nilam dengan menggunakan sistem uap langsung selama 4 jam menghasilkan rendemen tertinggi 3.21 % pada tekanan kerja 150 kPa. Sementara itu Somantri (1999), telah melakukan simulasi untuk menentukan panjang kondensor alat penyuling minyak atsiri.

Permasalahan yang muncul kemudian adalah seberapa besar efektifitas dari sistem penyulingan yang telah dirancang bangun bisa memberikan keuntungan yang optimal bagi penggunaannya. Pertanyaan ini kerap kali muncul dari pengguna atau pihak-pihak yang merasa tertarik dengan usaha di bidang penyulingan minyak atsiri ini. Hal ini juga merupakan tantangan bagi kita untuk menyediakan sejumlah data yang sangat dibutuhkan para pengguna baik yang berkaitan dengan performansi, optimasi maupun proyeksi dari sistem penyulingan minyak atsiri ini. Tentu saja untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tadi dibutuhkan suatu metode atau teknik-teknik yang relevan dan handal sebagai alat dalam pengambilan sebuah kebijakan. Berkaitan dengan permasalahan tersebut di atas, penelitian ini diharapkan mampu menjawab setiap permasalahan yang berhubungan dengan pengembangan sistem usaha minyak atsiri khususnya komoditas nilam, baik secara teknis maupun ekonomis.

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian adalah pendekatan sistem, dimana menurut Manetsch dan Park (1977), pendekatan sistem adalah metode logika dalam pemecahan masalah yang memungkinkan untuk mengidentifikasi, menganalisis dan mensimulasi suatu model dari sebuah sistem yang dirancang untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Sedangkan Roberts *et al.* (1983), menyatakan bahwa untuk mempelajari suatu masalah dengan menggunakan pendekatan sistem, perhatian perlu dipusatkan pada hubungan antar berbagai komponen yang menyusun sistem tersebut secara keseluruhan.

Mempelajari suatu sistem dengan melakukan eksperimen langsung pada sistem nyata sering membutuhkan biaya yang besar dan dapat merusak sistem yang ada. Untuk menghindari hal tersebut perlu dibangun suatu model yang merupakan representasi dari sistem yang akan dipelajari. Cover (1996) mengemukakan bahwa simulasi (model) merupakan alat penyelidikan yang digunakan untuk mengetahui berbagai perubahan yang terjadi dalam sistem tanpa merusak sistem tersebut. Sedangkan Law dan Kelton (1991) mengemukakan bahwa dalam menganalisis suatu sistem yang sangat kompleks dimana cara analitik sulit untuk digunakan, seringkali digunakan cara simulasi, yaitu perhitungan numerik dari suatu model yang dikembangkan untuk melihat bagaimana parameter masukan berpengaruh terhadap ukuran penampilan keluarannya.

Selain melakukan simulasi diperlukan teknik optimasi dalam rangka memperoleh suatu hasil yang maksimum ataupun minimum. Menurut Stoecker (1971), optimasi adalah proses untuk mendapatkan kondisi yang maksimum atau minimum dari suatu fungsi. Optimasi sudah merupakan bagian yang penting pada sebuah perckayasaan,

meskipun kadang-kadang untuk skala kecil usaha optimasi ini tidak layak dari segi waktu dan efisiensi. Seringkali sebuah rancangan sulit sekali dioptimasi karena sistemnya kompleks, oleh karena itu usaha optimasi dilakukan dengan mencari kombinasi yang optimum dari berbagai sub-sistem. Meskipun dengan cara ini tidak ada jaminan bahwa kondisi optimum telah dicapai.

Penelitian ini bertujuan untuk menyediakan basis data sistem penyulingan minyak nilam pada berbagai skala usaha yang dapat dipergunakan dalam sistem perkerayaan dan sistem usaha minyak nilam. Diharapkan dari penelitian ini bisa digunakan sebagai input bagi studi kelayakan bisnis minyak atsiri khususnya minyak nilam dan dapat digunakan dalam membuat sebuah sistem perencanaan dalam usaha penyulingan minyak atsiri khususnya minyak nilam.

## BAHAN DAN METODE

### Proses Penyulingan

Proses keluarnya minyak dari bahan baku adalah suatu proses penguapan, dimana penguapan pertama terjadi pada minyak yang berada di sekitar permukaan bahan, kemudian diteruskan dengan penguapan pada minyak pada lapisan sebelah dalam. Laju penguapan pada mulanya besar dan semakin lama semakin mengecil karena minyak makin sulit menerobos permukaan bahan dan persediaan minyak dalam bahan semakin lama makin sedikit. Dengan demikian laju aliran keluarnya minyak ini diasumsikan mengikuti model persamaan diferensial ordo pertama. Bila bahan baku mengandung  $C$  kg minyak maka persamaan ordo pertama dapat ditulis (Heldman dan Singh, 1981) :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -kC \quad \dots \dots \dots (1)$$

Dengan mengintegrasikan persamaan (1) di atas dan dengan memasukkan kondisi batas untuk  $t = 0$ ,  $C = C_0$ , maka :

$$C = C_0 \exp(-kt) \quad \dots \dots \dots (2)$$

Dalam hal ini  $C_0$  adalah kandungan minyak awal (kg) di dalam bahan baku dan  $t$  adalah lamanya penyulingan (jam). Besarnya  $C_0$  adalah besarnya kandungan minyak dalam bahan (%) dikalikan dengan massa bahan (kg), sedangkan laju penyulingan ( $k$ ) sangat tergantung pada besarnya tekanan kerja atau  $P$  (Pascal). Dahlan (1989), telah membuat persamaan empiris laju penyulingan minyak nilam sebagai fungsi dari tekanan kerja yang dirumuskan sebagai berikut :

$$k = -0.326 + 0.00446P \quad \dots \dots \dots (3)$$

Rendemen penyulingan didefinisikan sebagai perbandingan berat minyak yang diperoleh pada waktu tertentu dengan berat bahan baku.

### Distilator

Energi yang dibutuhkan oleh distilator untuk mengubah air menjadi uap merupakan jumlah dari energi untuk memanaskan air dan energi untuk penguapan, yang dirumuskan:

Energi untuk pemanasan :

$$Q_p = m_w C_p (T_s - T_w) \quad \dots \dots \dots (4)$$

Energi untuk penguapan :

$$Q_u = m_w \cdot L \dots\dots\dots(5)$$

Total energi yang dibutuhkan untuk menguapkan air, adalah :

$$Q_{total} = Q_p + Q_u \dots\dots\dots(6)$$

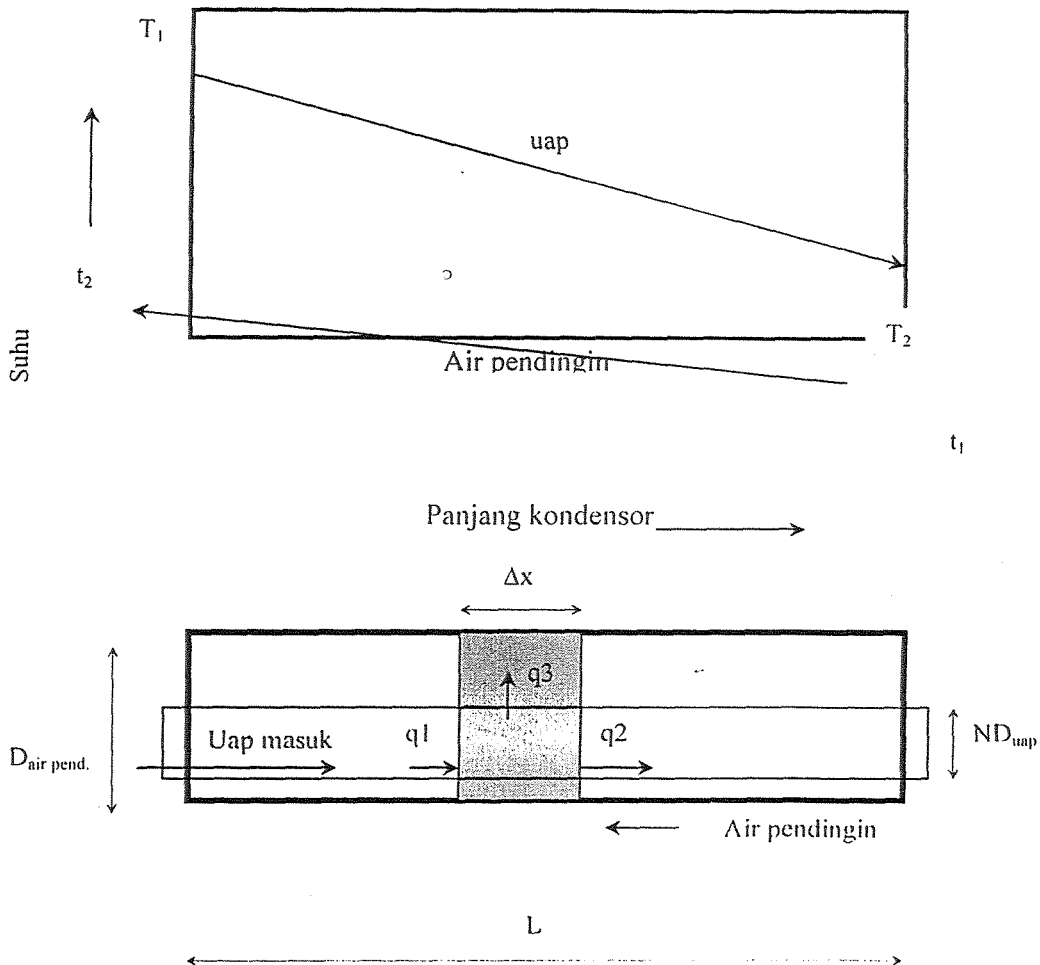
Sedangkan massa uap yang terbentuk adalah :

$$m_s = \text{Eff. } Q_{total} / (h_2 - h_1) \dots\dots\dots(7)$$

dimana  $(h_2 - h_1)$  adalah perubahan entalpi (kJ/kg).

**Kondensor**

Kondensor adalah sebuah alat penukar panas yang berfungsi sebagai pendingin uap sehingga fase uap air dan minyak yang terjadi di dalam pipa berubah kembali dalam bentuk cairan akibat pendinginan oleh air pada pipa sebelah luar. Secara lengkap proses kondensasi dan perubahan suhu yang terjadi dalam kondensor seperti ditunjukkan dalam Gambar 1. Pada Gambar 1 tersebut keseimbangan panas yang terjadi dalam kondensor diasumsikan mengikuti Hukum Termodinamika I, yaitu energi yang masuk ke dalam system akan sama besarnya dengan energi yang keluar dari system tersebut (Welty, 1974; Burghart, 1982).



Gambar 1. Skema pindah panas yang terjadi di dalam kondensor.

Pada kondisi stabil (*steady state*) keseimbangan energi yang terjadi adalah :

$$q1 = q2 + q3 \dots\dots\dots (8)$$

dimana :

$$q1 = \rho \frac{\pi D^2}{4} c_p v_x T|_x \dots\dots\dots(9)$$

$$q2 = \rho \frac{\pi D^2}{4} c_p v_x T|_{x+\Delta x} \dots\dots\dots (10)$$

$$q3 = h\pi D\Delta x(T_{lm}) \dots\dots\dots (11)$$

Dengan substitusi pada pers (8) maka :

$$\rho \frac{\pi D^2}{4} c_p (v_x T|_{x+\Delta x} - v_x T|_x) - h\pi D\Delta x(T_{lm}) = 0 \dots\dots\dots (12)$$

atau :

$$\rho c_p v_x \frac{D}{4} \frac{T|_{x+\Delta x} - T|_x}{\Delta x} + hT_{lm} = 0 \dots\dots\dots(13)$$

Pada limit  $\Delta x \rightarrow 0$  persamaan di atas menjadi :

$$\rho c_p v_x \frac{D}{4} \frac{dT}{dx} + hT_{lm} = 0 \dots\dots\dots(14)$$

atau dapat ditulis :

$$\frac{dT_{uap}}{dx} = - \frac{h}{\rho c_p v_x} \frac{4}{N \cdot D_{uap}} (T_{lm}) \dots\dots\dots(15)$$

sedangkan untuk air pendingin dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{dT_{air}}{dx} = - \frac{h}{\rho c_p v_x} \frac{4}{(D_{air} - N \cdot D_{uap})} (T - T_{limk}) \dots\dots\dots(16)$$

Perbedaan temperatur antara uap (steam) dan air pendingin dinyatakan dalam  $T_{lm}$  atau *Logarithmic Mean Temperature Difference* (LMTD), yang dinyatakan (Sitompul, 1992):

$$LMTD = T_{lm} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)} \dots\dots\dots(17)$$

**Tungku**

Tungku berfungsi sebagai sumber panas pada proses penyulingan. Besarnya bahan bakar yang dibutuhkan pada setiap proses penyulingan adalah :

$$M_{bb} = Q_{total} / L_{bb} \dots\dots\dots(18)$$

dimana  $m_{bb}$  adalah massa bahan bakar (kg) dan  $L_{bb}$  adalah panas laten dari bahan bakar (kJ/kg).

**Dimensi peralatan**

Untuk menentukan dimensi peralatan penyulingan pada setiap kapasitas penyulingan dilakukan melalui optimasi biaya sebagai fungsi dari dimensi peralatan tersebut. Optimasi biaya dilakukan terhadap masing-masing subsistem dengan menggunakan metode pengali Lagrange dan penyelesaian persamaan linier non simultan Newton-Raphson serta Runge-Kutta.

**Distilator**

Penyelesaian biaya untuk distilator dilakukan dengan menggunakan pengali Lagrange yaitu (Soemartojo, 1987; Kamaruddin, dkk. 1990) :

$$F(D,L, \lambda) = f(D,L) + \lambda g(D,L) \dots\dots\dots(19)$$

Dimana :  $f(D,L)$  = fungsi biaya awal dan biaya operasi  
 $g(D,L)$  = fungsi pembatas (fungsi kendala)  
 $\lambda$  = pengali Lagrange

Kondisi di atas dapat dipenuhi dengan persyaratan :

$$\frac{\partial F(D, L, \lambda)}{\partial D} = 0, \frac{\partial F(D, L, \lambda)}{\partial L} = 0, \frac{\partial F(D, L, \lambda)}{\partial \lambda} = 0 \dots\dots\dots(20)$$

Persamaan (20), selanjutnya diselesaikan dengan metode Newton-Raphson untuk persamaan simultan non linier yang dirumuskan sebagai berikut (Sediawan, dkk. (1997)):

$$\left. \begin{aligned} f_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) &= 0 \\ f_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) &= 0 \\ f_3(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) &= 0 \\ \dots & \\ f_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(21)$$

Persamaan (21) di atas bila ditulis dalam bentuk matriks menjadi :

$$\bar{F}(\bar{x}) = \bar{0} \dots\dots\dots(22)$$

dengan :

$$\bar{F} = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix}; \bar{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}; \bar{0} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(23)$$

Untuk menentukan nilai  $x_1, x_2, \dots, x_n$  secara simultan dengan cara ini dirumuskan :

$$\bar{x}_{baru} = \bar{x}_{lama} - [\bar{J}(x_{lama})]^{-1} \cdot \bar{F}(\bar{x}_{lama}) \dots\dots\dots(24)$$

**Kondensor**

Panjang kondensor (L) ditentukan dari dengan metode Runge-Kutta untuk persamaan differensial orde 1, yaitu :

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y) \dots\dots\dots(25)$$

dengan batas  $x = x_0; y = y_0$ .

Pada cara ini diambil suatu harga  $\Delta x$  tertentu (makin kecil makin baik). Pendekatan Runge-Kutta untuk interval  $x_i \rightarrow x_i + 1$  adalah sebagai berikut :

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= f(x_i, y_i) \cdot \Delta x \\ k_2 &= f\left(x_i + \frac{\Delta x}{2}, y_i + \frac{k_1}{2}\right) \cdot \Delta x \\ k_3 &= f\left(x_i + \frac{\Delta x}{2}, y_i + \frac{k_2}{2}\right) \cdot \Delta x \\ k_4 &= f(x_i + \Delta x, y_i + k_3) \cdot \Delta x \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(26)$$

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x \dots\dots\dots(27)$$

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \dots\dots\dots(28)$$

**Tungku**

Biaya awal alat (biaya investasi) merupakan jumlah dari seluruh pembuatan tungku, distilator, kondensor dan pemisah minyak.

**Analisa Ekonomi**

Analisis ekonomi dilakukan dengan menggunakan metode B/C rasio dan analisis Titik Impas (Break Even Point). Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pada tingkat harga jual dan pada tingkat produksi berapa keuntungan akan diperoleh. Analisis ini juga dapat dimanfaatkan untuk mengetahui kaitan antara volume produksi, harga jual, keuntungan dan kerugian yang akan diperoleh pada suatu tingkat produksi tertentu (Pramudya dan Dewi, 1991).

Dalam analisis ekonomi tersebut digunakan persamaan-persamaan sebagai berikut (Pramudya dan Dewi, 1991):

1. Biaya Tetap per tahun (F)  
 $F = D + I + L$  ..... (29)
  - a. Biaya Penyusutan,  $D = (P - S)/N$  ..... (30)
  - b. Biaya Bunga Modal dan Asuransi,  $I = (iP(N + 1))/(2N)$  ..... (31)
  - c. Pajak, Biaya Pemasaran, Administrasi, L
2. Biaya Tidak Tetap per tahun (V)  
 $V = U + PP + BB + EL + LL$  ..... (32)
3. Kapasitas Kerja Alat Penyuling (B)  
 $B = W/T$  ..... (33)
4. Biaya Tetap per kilogram bahan basah (C)  
 $C = F / (B * HKT)$  ..... (34)
5. Biaya Tidak Tetap per kilogram basah (E)  
 $E = V / (B * HKT)$  ..... (35)
6. Biaya Pokok Penyulingan per kilogram basah (BPPB)  
 $BPPB = C + E$  ..... (36)

Dimana :

- I : Total tingkat bunga dan asuransi (%/tahun)  
 I : Total bunga modal dan asuransi (%/tahun)  
 L : Biaya pajak (Rp/tahun)  
 U : Upah operator (Rp)  
 PP : Biaya perbaikan dan pemeliharaan (Rp/tahun)  
 BB : Biaya bahan baker (Rp/tahun)  
 EL : Biaya pemakaian listrik (Rp/tahun)  
 B : Kapasitas kerja alat penyuling (kg/hari)

### Sistem informasi

Keseluruhan informasi yang diperoleh dari hasil penelitian ini baik kualitatif maupun kuantitatif disajikan dalam bentuk CD yang interaktif. Format CD interaktif ini melibatkan berbagai perangkat lunak seperti Macromedia flash, macromedia director, AVI dan perangkat lunak pembantu lainnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Keragaan proses penyulingan minyak nilam

Dari hasil simulasi penyulingan minyak nilam seperti tertera pada Tabel 1, terlihat bahwa untuk mencapai rendemen 2,5 % dibutuhkan waktu penyulingan selama 8 jam. Secara lengkap pada Tabel 1 tersebut ditampilkan keragaan penyulingan minyak nilam pada berbagai skala usaha penyulingan.

### Optimasi dimensi alat penyuling

Kebutuhan dimensi optimal untuk peralatan penyulingan minyak atsiri khususnya minyak nilam untuk setiap kapasitas penyulingan seperti tertera pada Tabel 2. Pada Tabel tersebut masing-masing komponen penyulingan seperti distilator, kondensor dan tungku disajikan secara lengkap untuk kebutuhan perkerjasama penyuling minyak atsiri. Sedangkan pada Tabel 3 disajikan estimasi kebutuhan dana untuk pembuatan peralatan

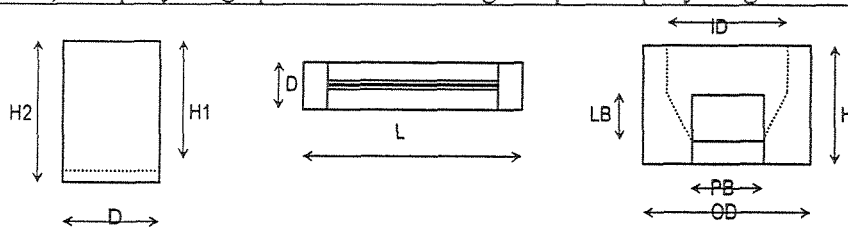


minyak atsiri ini. Data kebutuhan dana ini belum termasuk biaya *over head* dan biaya pemasangan alat.

Tabel 1. Keragaan operasi penyulingan minyak nilam pada berbagai skala usaha

Kapasi- tas (kg)	Waktu (jam)	Rend. (%)	Distilat		Debit air pendingin (l/menit)	Konsumsi Bahan bakar	
			Debit, l/mnt	Suhu, °C		M. Tanah, ltr	K. bakar, kg
50	8	2.54	0.467	30.99	19.72	12.13	27.24
100	8	2.54	0.934	30.98	39.44	24.26	54.48
150	8	2.54	1.402	30.99	59.16	36.40	81.72
200	8	2.54	1.869	31.00	78.87	48.53	108.96
250	8	2.54	2.336	31.00	98.59	60.66	136.20
300	8	2.54	2.803	31.00	118.31	72.79	163.44
350	8	2.54	3.271	31.00	138.03	84.93	190.68
400	8	2.54	3.738	31.00	157.75	97.06	217.99
450	8	2.54	4.200	31.00	177.47	109.19	245.16
500	8	2.54	4.672	31.00	197.19	121.32	272.40

Tabel 2. Ukuran (meter) alat penyuling optimal untuk berbagai kapasitas penyulingan



Kapasi- tas (kg)	Vol. (m <sup>3</sup> )	Distilator			Kondensor			Tungku				
		D	H1	H2	D	L	JPU	OD	ID	H	PB	LB
50	0.5	0.8	1.00	1.29	0.20	1.07	24	1.05	0.80	0.9	0.4	0.2
		0							0	0	0	8
100	1.0	1.0	1.18	1.53	0.20	2.11	24	1.29	1.04	1.1	0.5	0.3
		4							4	2	6	6
150	1.5	1.2	1.31	1.70	0.20	3.11	24	1.46	1.21	1.3	0.6	0.4
		1							1	0	2	2
200	2.0	1.3	1.41	1.82	0.20	4.07	24	1.59	1.34	1.4	0.6	0.4
		4							4	7	7	7
250	2.5	1.4	1.50	1.95	0.20	5.00	24	1.71	1.45	1.5	0.7	0.5
		6							5	2	1	1
300	3.0	1.5	1.57	2.05	0.20	5.90	24	1.80	1.55	1.6	0.7	0.5
		6							5	8	5	5
350	3.5	1.6	1.64	2.13	0.20	6.76	24	1.90	1.65	1.7	0.8	0.5
		5							5	2	8	8
400	4.0	1.7	1.70	2.21	0.20	7.60	24	1.98	1.73	1.8	0.8	0.6
		3							3	6	1	1
450	4.5	1.8	1.76	2.29	0.20	8.41	24	2.05	1.80	1.9	0.9	0.6
		0							0	0	3	3
500	5.0	1.8	1.81	2.36	0.20	9.19	24	2.12	1.87	1.9	0.9	0.6
		7							7	4	6	6

Keterangan : JPU = Jumlah Pipa Uap (SS ½")

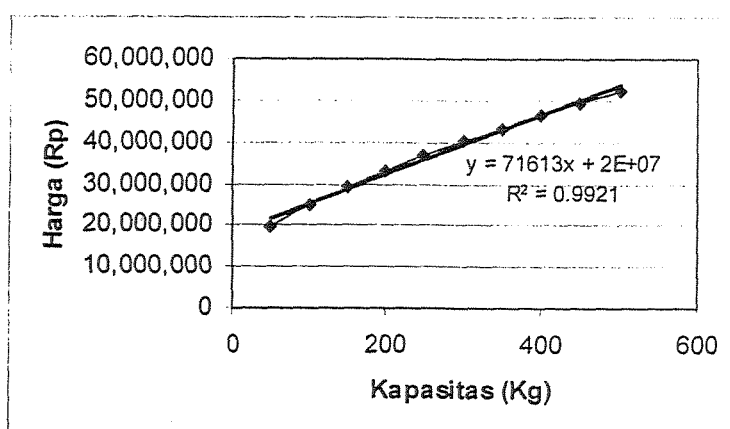
Tabel 3. Estimasi Biaya Pembuatan Alat Penyuling

Kapasi- tas (kg)	Vol. (m <sup>3</sup> )	Biaya bahan (Rp)				Upah <sup>*)</sup> (Rp)	Total Biaya <sup>**)</sup> (Rp)
		Distilator	Kondensor	Tungku	Pem.mnyk		
50	0.5	10.217.800	1.671.000	1.792.000	1.000.000	5.025.000	19.705.800
100	1.0	13.317.000	2.602.000	2.016.000	1.000.000	5.851.000	24.786.000
150	1.5	15.682.600	3.497.000	2.194.000	1.000.000	6.679.000	29.052.600
200	2.0	17.592.000	4.362.000	2.349.000	1.500.000	7.506.000	33.309.000
250	2.5	19.340.800	5.209.000	2.489.000	1.500.000	8.333.000	36.871.800
300	3.0	20.923.200	6.018.000	2.618.000	1.500.000	9.160.000	40.219.200
350	3.5	22.378.800	6.804.000	2.738.000	1.500.000	9.988.000	43.408.800
400	4.0	23.694.000	7.572.000	2.852.000	1.750.000	10.815.000	46.683.000
450	4.5	24.968.200	8.310.000	2.960.000	1.750.000	11.642.000	49.630.200
500	5.0	26.175.200	9.023.000	3.063.000	1.750.000	12.469.000	52.480.200

Keterangan : \*) Upah =f(vol.dist)= 419469 + 1654.35(Vol)

\*\*\*) Harga alat belum termasuk *over head cost*

Hubungan antara kapasitas penyulingan dengan harga alat penyuling seperti ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini. Pada Gambar tersebut terlihat bahwa harga alat penyulingan akan berbanding lurus terhadap kapasitas penyulingannya dan akan mengikuti persamaan  $Y = 71613x + 2 \times 10^7$  ( $r^2 = 0.9921$ ).



Gambar 2. Hubungan antara kapasitas penyulingan dan harga alat

### Analisa Ekonomi

Hasil simulasi untuk analisa ekonomi penyulingan minyak nilam nilam ini disajikan pada Tabel 4, 5 dan 6. Tabel 4 menunjukkan kebutuhan biaya distilasi (jika menggunakan bahan bakar minyak tanah atau kayu bakar), biaya kondensasi, upah operasi dan bahan baku. Sedangkan Tabel 5 menampilkan biaya produksi minyak nilam per liternya jika bahan bakarnya menggunakan minyak tanah dan apabila bahan bakarnya menggunakan kayu bakar biaya produksinya seperti pada Tabel 6. Perhitungan analisa ekonomi ini menggunakan asumsi, 1) umur ekonomi alat adalah 30 tahun; 2) Tingkat suku bunga sebesar 15 % per tahun; 3) Biaya penanganan bahan (pengeringan dan sortasi) Rp 100/kg bahan basah; 4) Biaya pemeliharaan alat sebesar 5 % dari harga alat/tahun; 5) Tingkat bunga modal dan asuransi sebesar 5% per tahun; dan 6) 1 tahun beroperasi selama 240 hari dan 1 hari beroperasi 2 kali.

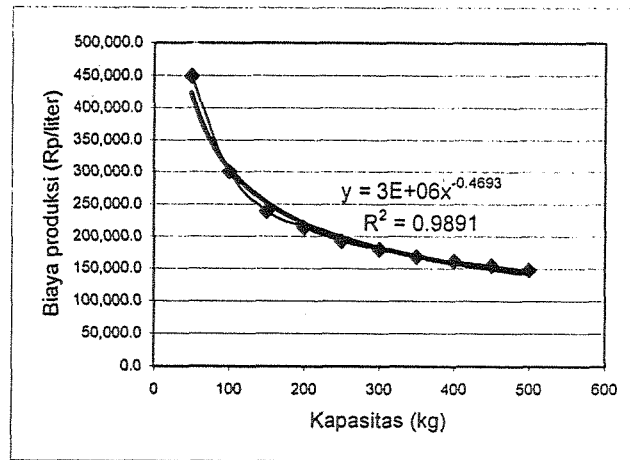
Tabel 4. Biaya Operasi penyulingan minyak nilam dan kebutuhan biaya bahan baku

Kapasi- tas (kg)	Volume (m <sup>3</sup> )	Distilasi (Rp)		Biaya Kondensasi (Rp)	Upah operasi (Rp)	Bahan baku (Rp)
		M. tanah	K. Bakar			
50	0.5	17128.1	16023.5	318.5	75000	25000
100	1.0	34256.2	32047.0	1245.9	100000	50000
150	1.5	51384.3	48070.6	2735.6	100000	75000
200	2.0	68512.4	64094.1	4749.2	100000	100000
250	2.5	85640.4	80117.6	7264.2	125000	125000
300	3.0	102768.5	96141.1	10220.2	125000	150000
350	3.5	119896.6	112164.7	13601.3	125000	175000
400	4.0	137024.7	128188.2	17393.4	150000	200000
450	4.5	154152.8	144211.7	21535.5	150000	225000
500	5.0	171280.9	160235.2	26012.5	150000	250000

Tabel 5. Biaya Produksi Penyulingan Minyak Nilam dengan Bahan bakar Minyak tanah

Kapasi- tas (kg)	Penyusutan	B. Tetap		B. Tidak Tetap			Total Biaya Prod.(Rp)	B. prod. (Rp/l)
		BMA	Pajak	B.Operasi	BPB	BPA		
50	591174	2036266	985290	282746355	5000	492645	286856700	449337.0
100	743580	2561220	1239300	378643350	10000	619650	383817100	300608.6
150	871578	3002102	1452630	453067485	15000	726315	459135100	239732.2
200	999270	3441930	1665450	539620875	20000	832725	546580300	214043.0
250	1106154	3810086	1843590	606109005	25000	921795	613815600	192298.1
300	1206576	4155984	2010960	682229520	30000	1005480	690638500	180304.6
350	1302264	4485576	2170440	744664380	35000	1085220	753742900	168667.8
400	1400490	4823910	2334150	820309625	40000	1167075	830075200	162530.4
450	1488906	5128454	2481510	880207045	45000	1240755	890591600	155004.1
500	1574406	5422954	2624010	939101195	50000	1312005	950084600	148822.8

Secara grafik, hubungan antara kapasitas penyulingan dan biaya produksi per liter minyak nilam bila menggunakan bahan baker minyak tanah seperti ditunjukkan pada Gambar 3 di bawah ini. Pada gambar tersebut terlihat bahwa biaya produksi minyak nilam akan mengikuti persamaan power  $Y = 3. 10^6 x^{-0.4693}$  dengan koefisien determinasi ( $r^2$ ) 0.9891.

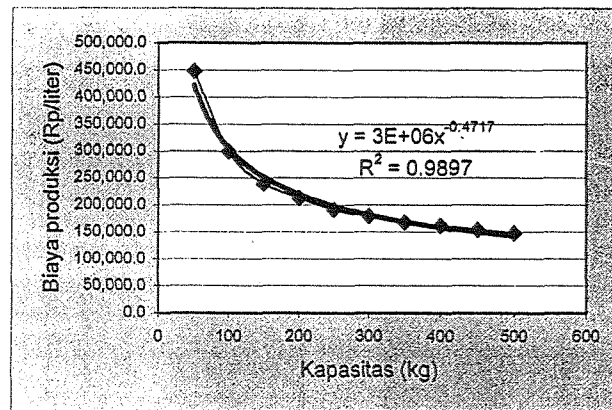


Gambar 3. Hubungan kapasitas dengan biaya produksi bila menggunakan bahan bakar minyak tanah

Tabel 6. Biaya Produksi Penyulingan Minyak Nilam dengan Bahan bakar kayu bakar

Kapasi- tas (kg)	B. Tetap			B. Tidak Tetap			Total Biaya Prod.(Rp)	B. prod. (Rp/l)
	Penyusuta n	BMA	Pajak	B.Operasi	BPB	BPA		
50	591174	2036266	985290	282216155	5000	492645	286326500	448506.4
100	743580	2561220	1239300	377582950	10000	619650	382756700	299778.1
150	871578	3002102	1452630	451476885	15000	726315	457544500	238901.7
200	999270	3441930	1665450	537500075	20000	832725	544459400	213212.5
250	1106154	3810086	1843590	603458105	25000	921795	611164700	191467.6
300	1206576	4155984	2010960	679048320	30000	1005480	687457300	179474.0
350	1302264	4485576	2170440	740953080	35000	1085220	750031600	167837.4
400	1400490	4823910	2334150	816068125	40000	1167075	825833800	161699.9
450	1488906	5128454	2481510	875435345	45000	1240755	885819900	154173.6
500	1574406	5422954	2624010	933799395	50000	1312005	944782800	147992.3

Pada Gambar 4 di bawah ini ditunjukkan hubungan antara kapasitas penyulingan dengan biaya produksi per liter minyak nilam bila menggunakan bahan baker kayu. Pada gambar tersebut terlihat bahwa biaya produksi akan mengikuti persamaan power  $Y = 3.10^6 x^{-0.4717}$  ( $r^2 = 0.9897$ ).



Gambar 4. Hubungan kapasitas penyulingan dengan biaya produksi bila menggunakan bahan bakar kayu

Berdasarkan Tabel 5 dan 6 di atas terlihat bahwa semakin besar skala usaha yang dilakukan, maka biaya produksinya akan semakin rendah dan dengan menggunakan analisis B/C rasio, dimana besarnya rasio penerimaan terhadap pengeluaran harus lebih besar dari satu, sehingga dapat ditentukan tingkat harga minimum yang bisa memberikan keuntungan seperti disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Tingkat harga minimum minyak nilam yang bisa memberikan keuntungan

Kapasitas (kg)	Bahan bakar menggunakan minyak tanah		Bahan bakar menggunakan kayu bakar	
	Rp/liter	Rp/kg	Rp/liter	Rp/kg
50	454038.0	433424.7	453207.5	432631.8
100	303565.1	289783.2	302734.7	288990.5
150	242042.5	231053.7	241212.0	230260.9
200	216029.6	206221.8	215199.1	205429.0
250	194057.4	185247.2	193226.9	184454.4
300	181903.6	173645.2	181073.2	172852.4
350	170147.2	162422.5	169316.7	161629.7
400	163922.5	156480.4	163092.0	155687.6
450	156319.6	149222.7	155489.2	148430.0
500	150074.8	143261.4	149244.3	142468.6

Dari Tabel 7 di atas semakin jelas bahwa harga jual minyak nilam per kg atau per liternya akan semakin rendah pada kapasitas penyulingan yang lebih besar. Dari sini dapat ditentukan, bahwa jika harga di pasaran lokal harga minyak nilam Rp. 200.000/kg, maka usaha minyak nilam dengan kapasitas alat 200 kg akan merugi, sehingga diperlukan keberanian untuk meningkatkan posisi tawar terhadap harga yang berlaku ini.

Untuk mengatasi hal ini maka perkerayaan alat penyuling minyak atsiri untuk usaha minyak nilam harus diperbaharui, misalnya penggunaan bahan stainless steel hanya digunakan pada bagian yang kontak dengan bahan seperti pada pipa bagian dalam pada kondensor. Pada ketel bisa menggunakan besi tahan karat, sehingga keseluruhan investasi terhadap alat ini menjadi lebih murah. Selain itu pemilihan tempat untuk usaha ini sebaiknya memilih tempat yang memungkinkan bisa dengan mudah diperoleh air terutama untuk kebutuhan kondensor, misalnya dekat dengan sungai sehingga tidak diperlukan pompa untuk mengangkat air.

### Sistem informasi

Sistem informasi teknologi penyulingan minyak nilam disajikan dalam format multimedia yang berisikan paket teknologi baik yang bersifat kualitatif maupun kuantitatif. Paket informasi ini dibuat sedemikian rupa sehingga memudahkan bagi pengguna untuk memahami berbagai pesan yang disampaikan.

### KESIMPULAN

1. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa model matematik yang dibentuk untuk keperluan prediksi dan optimasi sistem penyulingan minyak atsiri khususnya minyak nilam telah mampu memberikan informasi yang integrative tentang prediksi dimensi alat, harga alat, lama penyulingan, rendemen, debit distilat, kebutuhan air pendingin dan konsumsi bahan bakar. Proses penyulingan nilam secara teoritis akan berlangsung selama 8 jam untuk mendapatkan rendemen rata-rata 2.54 %. Jumlah minyak yang dihasilkan untuk setiap proses penyulingan akan berbanding lurus terhadap kapasitas penyulingannya.
2. Berdasarkan hasil analisis ekonomi usaha penyulingan minyak atsiri pada berbagai skala usaha menunjukkan bahwa harga alat penyuling pada pengembangannya berbanding lurus terhadap besarnya kapasitas penyulingan. Sedangkan harga minyak nilam minimal yang bisa memberikan keuntungan mengikuti persamaan  $y = 3 \times 10^6 x^{0.4693}$  ( $r^2 = 0.9891$ ) jika menggunakan bahan bakar minyak tanah dan  $y = 3 \times 10^6 x^{0.4717}$  ( $r^2 = 0.9897$ ) menggunakan bahan bakar dari kayu bakar.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 1986. Penelitian dan Pengembangan Minyak Atsiri Indonesia. Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat, Bogor.
- Burgahart, M.D. 1982. Engineering Thermodynamics with Applications. U.S. Merchant Marine Academy King Point, New York.
- Cover, J. 1996. Introduction to System Dynamics. Powersim Press. Virginia.
- Dahlan, D. 1989. Model Matematik Pengaruh Tekanan Uap terhadap Rendemen Penyulingan Minyak Nilam. Tesis. Fakultas Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Dummond, H.M. 1960. Patchouli Oil. Patchouli Oil Journal of Parfumary and essential Oil Record.
- Lestari, R.S.E. 1993. Pengaruh Tekanan Uap Dalam Proses Distilasi Terhadap Rendemen Minyak Serai Wangi. Tesis. Program Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Law, A.M. and Kelton, W.D. 1991. Simulation Modeling and Analysis. McGraw-Hill, Inc, New York.

- Roberts, N., Anderson, D.F., Deal, R.M., Garet, M.S. and Shaffer, W.A. 1983. Introduction to Computer Simulation. A System Dynamics Modeling Approach. Addison-Wesley Publishing Company. Carolina.
- Stoecker, W.F. 1971. Design of Thermal System. McGraw-Hill. Book Company, New York.
- Stoecker, W.F. dan J.W. Jones disadur oleh S. Hara. 1987. Referigerasi dan Pengkondisian Udara. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Sitompul, T.M. 1992. Alat Penukar Kalor. PT. Raja Grafindo Persada.
- Sastroamidjojo, S. 1988. Obat Asli Indonseia. Khusus Tumbuh-tumbuhan yang terdapat di Indonesia. Catakan ke empat. Penerbit Daian Rakyat, Jakarta.
- Kamaruddin, A., M.A Dhalhar dan K. Fujii. 1990. Matematika Terapan. JICA-DGHE/IPB Project/ADAET: JTA-9A(132), Fateta-IPB.
- Soemartojo, N. 1987. Kalkulus lanjutan. Penerbit Universitas Indonesia.
- Sediawan, W.B., dan A. Prasetyo. 1997. Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia. Penerbit Andi Yogyakarta.
- Somantri, A.S. 1999. Simulasi Model Pindah Panas Pada Sistem Kondensasi Alat Penyuling. Makalah disampaikan pada seminar Bulanan Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat.
- Welty, J.R. 1974. Engineering Heat Transfer. John Wiley and Sons Inc., Canada