

# Pengaruh massa air baku terhadap performansi sistem destilasi

IGNB.Catrawedarma

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hindu Indonesia, Denpasar

---

## Abstrak

Air bersih merupakan kebutuhan hidup manusia yang sangat penting. Salah satu cara yang digunakan untuk memperoleh air bersih adalah dengan proses destilasi. Hal terpenting dalam proses destilasi adalah proses evaporasi dan kondensasi, yang dipengaruhi oleh pemanasan air baku. Proses pemanasan air baku ini akan dipengaruhi oleh massa dari air baku yang akan dipanaskan. Massa air baku yang banyak akan menyebabkan proses pemanasan menjadi lama, sehingga dari hal itu dilakukan pengujian dengan memvariasikan massa air baku dalam basin. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan data yang berupa temperatur dan massa air kondensat yang tertampung dalam reservoa. Selanjutnya dari data tersebut dilakukan perhitungan untuk mengetahui performansi alat destilasi yang berupa laju destilasi, efisiensi produk, dan efisiensi sistem untuk masing – masing variasi. Dari hasil perhitungan dan analisa data, dapat diketahui bahwa terjadi fluktuasi dari efisiensi sitem dan laju destilasi. Efisiensi sitem tergantung dari rasio antara energi kondensasi ( $q_c$ ) dan energi masuk sistem ( $q_{in}$ ). Laju destilasi tergantung dari rasio massa air yang terkondensasi dengan selang waktu. Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa variasi 3 kg air baku memberikan nilai yang paling baik dari kelima variasi massa air baku dengan nilai : Laju destilasi rata – rata sebesar 3,829 gr/mnt, efisiensi produk total sebesar 80,42 %, dan efisiensi total rata – rata sebesar 22,67 %.

Kata kunci: Variasi massa air baku, laju destilasi, efisiensi produk, dan efisiensi sistem.

## Abstract

Clean water is requirement of very important human life. One of the method to be used for obtain clean water is distillation process. Important matter in distillation process is evaporation and condensation process, influenced by heating of standard water. Heating process of this standard water will influence by mass of standard water to be heated. Mass standard water which many will cause heating process become requiring long time, so that from that thing is conducted by examination with variations of mass standard water in basin. Examination conducted to get data which in the form of mass and temperature condensat which is accomodated in reservoa. For the next, from the data conducted by calculation to know performance of distillation sistem which it form are distillation rate, product efficiency, and sistem efficiency for the variations of mass standard water. From result of data analysis and calculation, can know that happened fluctuation of sistem efficiency and distillation rate. Sistem efficiency depended from ratio between condensation energi ( $q_c$ ) of energi enter sistem ( $q_{in}$ ). Distillation rate depended from condensat mass ratio a time difference. From result of calculation got that variation of 3 kg standard water giving the best value from is fifth of standard water mass variation of with value : destilas rate average equal to 3,829 gr/mnt, total product efficiency equal to 80,42 %, and total efficiency average equal to 22,67 %.

Keywords : Variation of mass standard water, fast of distillation, efficiency of product, and efficiency of sistem.

---

## 1. Pendahuluan

Dengan semakin pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dewasa ini, memberikan kemudahan bagi manusia untuk melakukan suatu pekerjaan dalam memenuhi kebutuhan hidupnya. Salah satu kebutuhan hidup manusia adalah air. Air sangat diperlukan dalam setiap proses yang dilakukan oleh organ tubuh, misalnya : dalam proses metabolisme, air berperan utama dalam proses ini, karena air akan memperlancar jalannya proses metabolisme. Disamping itu, air juga dapat digunakan sebagai penstabil suhu tubuh, sehingga kondisi tubuh menjadi tetap sehat. Air yang dipergunakan dalam setiap proses ini adalah air bersih. Air bersih yang dimaksud adalah air yang bebas dari kotoran, bakteri yang merugikan, dan zat – zat lain yang bersifat merugikan bagi kesehatan manusia maupun mahluk hidup lainnya.

Ada berbagai cara yang sering dilakukan untuk mendapatkan air bersih yaitu : perebusan, penyaringan, destilasi dan lain – lainnya. Cara perebusan dilakukan hanya untuk mematikan kuman

dan bakteri – bakteri yang merugikan, namun kotoran yang berupa padatan – padatan kecil tidak bisa terpisah dengan air. Penyaringan digunakan hanya untuk menyaring kotoran – kotoran yang berupa padatan kecil, namun kuman dan bakteri yang merugikan tidak bisa terpisah dari air. Cara destilasi merupakan cara yang efektif digunakan untuk menghasilkan air bersih yang bebas dari kuman, bakteri, dan kotoran yang berupa padatan kecil. Pada proses destilasi, yang diambil hanya air kondensatnya, kuman dan bakteri akan mati oleh proses pemanasan, dan kotoran akan mengendap didasar basin.

Pada prinsipnya destilasi merupakan cara untuk mendapatkan air bersih melalui proses penyulingan air kotor. Pada proses penyulingan terdapat proses perpindahan panas, penguapan, dan pengembunan. Perpindahan panas terjadi dari sumber panas menuju ke air kotor. Air kotor jika terus – menerus dipanaskan akan menguap menjadi uap jenuh. Jika uap jenuh dari hasil penguapan ini bersentuhan dengan permukaan yang dingin, maka

akan terjadi proses kondensasi pada permukaan yang dingin tersebut. Pada proses kondensasi uap jenuh akan berubah fase menjadi air (kondensat). Karena pengaruh gravitasi kondensat akan mengalir kebawah mengikuti kemiringan kaca dan akan tertampung dalam reservoa. Kondensat yang tertampung dalam reservoa inilah yang merupakan air bersih yang siap untuk dikonsumsi.

Hal yang paling mendasar dalam proses destilasi adalah proses evaporasi dan kondensasi, kedua proses ini dipengaruhi oleh pemanasan air baku. Proses pemanasan air baku dipengaruhi oleh massa dari air baku yang dipanaskan. Berdasarkan hipotesa awal dari penulis bahwa massa air baku yang banyak akan menyebabkan proses pemanasan menjadi lama, begitu pula sebaliknya massa air baku yang sedikit akan mempercepat proses pemanasan. Proses pemanasan ini dapat mempengaruhi performansi alat destilasi. Sesuai dengan hipotesa awal tersebut, maka penulis berkeinginan untuk mengetahui pengaruh massa air baku terhadap performansi alat destilasi dengan memvariasikan massa air baku, sehingga didapat nilai performansi sistem yang berupa laju destilasi, efisiensi produk, dan efisiensi sistem yang terbesar dari variasi massa air baku.

**2. Tinjauan Pustaka**

**2.1 Perpindahan panas**

Perpindahan panas atau heat transfer adalah ilmu yang mempelajari perpindahan energi sebagai akibat dari adanya perbedaan temperatur diantara dua medium misalnya: sesama medium padat atau medium padat dengan fluida. Energi yang berpindah tersebut dinamakan kalor atau panas (heat). Panas akan berpindah dari medium yang bertemperatur lebih tinggi ke medium dengan temperatur yang lebih rendah. Perpindahan ini berlangsung terus sampai terjadi kesetimbangan temperatur diantara kedua medium tersebut atau tidak terjadi perbedaan temperatur diantara kedua medium.

Perpindahan panas dapat terjadi melalui beberapa mekanisme yaitu perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

**2.1.1 Perpindahan Panas Konduksi**

Proses perpindahan panas secara konduksi adalah suatu proses perpindahan energi panas dimana energi panas tersebut mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah dalam suatu medium padat atau fluida yang diam.

Persamaan umum laju konduksi untuk perpindahan panas dengan cara konduksi dikenal dengan hukum Fourier (Fourier's Law) [5] yang dirumuskan seperti dibawah :

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \tag{1}$$

dimana :  $q_k$  = laju perpindahan panas konduksi (Watt) ;  $k$  = konduktivitas termal bahan (W/m. K) ;  $A$  = luas penampang tegak lurus terhadap arah aliran panas ( $m^2$ ) ;  $\frac{dT}{dx}$  = gradien suhu (perubahan

temperatur terhadap arah x) (K/m). Tanda negatif (-) diselipkan dalam hukum Fourier yang menyatakan bahwa panas berpindah dari media bertemperatur tinggi ke media yang bertemperatur lebih rendah.

**2.1.2 Perpindahan Panas Konveksi**

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dari permukaan media padat atau fluida yang diam menuju fluida yang mengalir (bergerak) atau sebaliknya, dimana diantara keduanya terdapat perbedaan temperatur [6].

Persamaan perpindahan panas konveksi dikenal sebagai hukum Newton untuk pendinginan (Newton's Law of Cooling) [5] yang dirumuskan sebagai berikut:

Jika  $T_s > T_\infty$ :

$$q_{Konv} = h.A(T_s - T_\infty), \tag{2}$$

dimana,  $q_{Konv}$  = Laju perpindahan panas konveksi (Watt) ;  $h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi ( $W/m^2 .K$ ) ;  $A$  = Luas permukaan perpindahan panas ( $m^2$ ) ;  $T_s$  = Temperatur permukaan (K) ;  $T_\infty$  = Temperatur fluida (K)

Besarnya perpindahan panas konveksi juga ditentukan oleh besarnya koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ) yang tergantung dari dimensi dan kondisi aliran. Kondisi aliran untuk konveksi alami ditentukan dari *Rayleigh Number* ( $Ra_L$ ) yaitu perkalian antara *Grashof Number* ( $Gr_L$ ) dengan *Prandtl Number* (Pr) [2], sehingga secara matematis dapat ditulis :

$$Ra_L = Gr_L . Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2} Pr \tag{3}$$

dimana:  $g$  = Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ ) ;  $\beta$  = Koefisien ekspansi volume ( $1/K$ ) ;  $T_s$  = Temperatur permukaan (K) ;  $T_\infty$  = Temperatur dari fluida (K) ;  $L_c$  = Panjang karakteristik (m) ;  $\nu$  = Viskositas kinematik fluida ( $m^2/s$ ). Apabila :  $Ra_L > 10^9$  aliran adalah turbulen ;  $Ra_L \approx 10^9$  kondisi kritis ;  $Ra_L < 10^9$  aliran adalah laminar

Untuk perpindahan panas konveksi alami pada plat datar vertikal *Nusselt Number* ditentukan dengan rumus:

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387Ra_L^{1/6}}{\left[ 1 + (0.429/Pr)^{9/16} \right]^{4/27}} \right\}^2 \tag{4}$$

Sedangkan untuk perpindahan panas konveksi alami pada plat datar horizontal penentuan harga *Nusselt Number* dibagi menjadi dua [2]:

- Untuk plat horizontal dengan arah perpindahan panas ke atas,

$$Nu = 0,54.Ra_L^{1/4} \text{ untuk } 10^4 < Ra_L < 10^7 \tag{5}$$

$$Nu = 0,15.Ra_L^{1/3} \text{ untuk } 10^7 < Ra_L < 10^{11} \tag{6}$$

- Untuk plat horizontal dengan arah perpindahan panas ke bawah,

$$Nu = 0,27.Ra_L^{1/4} \text{ dengan : } 10^5 < Ra_L < 10^{11} \tag{7}$$

Koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ) ditentukan dengan *Nusselt Number* ( $Nu$ ).

$$Nu = \frac{h.L_c}{k}, \text{ sehingga } h = \frac{Nu.k}{L_c} \tag{8}$$

dimana:  $Nu$  = Nusselt Number ;  $h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi ( $W/m^2 .K$ ) ;  $k$  = Konduktivitas temal fluida ( $W/m .K$ ) ;  $L_c$  = Panjang karakteristik ( $m$ ) ;  $L_c = \frac{Luas}{Keliling}$

**2.1.3 Perpindahan Panas Radiasi**

Proses perpindahan panas secara radiasi (pancaran) adalah suatu proses perpindahan energi panas yang terjadi dari benda yang bertemperatur tinggi menuju benda dengan temperatur yang lebih rendah tanpa melalui suatu medium perantara, misalkan benda-benda tersebut terpisah dalam ruang atau bahkan bila terdapat suatu ruang hampa udara diantaranya [4].

Untuk dapat melakukan penghitungan laju perpindahan energi panas secara radiasi dipergunakan persamaan laju perpindahan panas radiasi sebagai berikut :

$$q_{radiasi} = \epsilon . \sigma . A . T_s^4 \tag{9}$$

dimana :  $q_{rad}$  = laju perpindahan panas secara radiasi ( $Watt$ ) ;  $\epsilon$  = emisivitas permukaan benda ;  $\sigma$  = konstanta Stefan-Boltzmann ( $5,67 . 10^{-8} W/m^2 . K^4$ ) ;  $A$  = luas bidang permukaan perpindahan panas radiasi ( $m^2$ ) ;  $T_s$  = temperatur permukaan benda ( $K$ ) ;  $T_{sur}$  = temperatur *surrounding* ( $K$ ).

**2.2 Penguapan (Evaporation)**

Secara umum penguapan berarti berubahnya fase zat dari zat cair menjadi uap. Penguapan juga berarti perpindahan massa zat cair ke atas dengan adanya gradien temperatur antara permukaan zat cair dengan udara diatasnya. Hal ini merupakan peristiwa konveksi alami. Konveksi alami terjadi akibat adanya efek gaya apung yang bekerja pada fluida. Efek gaya apung merupakan mekanisme yang terjadi karena adanya gradient massa jenis. Massa jenis akan menurun jika temperatur fluida meningkat, begitu juga sebaliknya temperatur meningkat maka massa jenis fluida akan menurun. Fluida yang ringan (memiliki massa jenis yang rendah) akan menempati posisi yang lebih diatas. Sehingga jika terus menerus diberi panas maka temperatur fluida akan terus meningkat dan massa jenisnya akan terus menurun dan terjadilah penguapan. Berikut ini merupakan persamaan umum untuk menentukan laju energi pada saat penguapan:

$$q_{evap} = \frac{m_v . h_{fg}}{\Delta t} \tag{10}$$

Dimana:  $m_v$  = Massa yang berubah menjadi uap ( $kg$ ) ;  $h_{fg}$  = Kalor laten penguapan ( $J/kg$ ) ;  $\Delta t$  = Selang waktu ( $s$ )

**2.3 Pengembunan (Condensation)**

Peristiwa pengembunan terjadi seperti pada penguapan yaitu berubahnya fase suatu zat, hanya dalam hal ini perubahan itu terjadi dari fase uap menjadi fase cair, kebalikan dari peristiwa penguapan. Perpindahan kalor pengembunan dipengaruhi oleh besarnya laju konsentrasi massa uap air yang berubah menjadi air (massa yang terkondensasi). Pengembunan juga terjadi akibat dari

uap jenuh yang bersentuhan dengan permukaan yang dingin (suhu permukaan suatu plat lebih rendah dari suhu jenuh uap) akan terjadi kondensasi pada permukaan plat, hal ini berarti uap jenuh tersebut melepaskan kalor latennya, dan karena pengaruh gravitasi kondensat akan mengalir kebawah.

Berikut ini adalah persamaan umum untuk menentukan laju energi pada saat pengembunan :

$$q_c = \frac{m_c . h_{fg}}{\Delta t} \tag{11}$$

dimana:  $m_c$  = Massa yang terkondensasi ( $kg$ ) ;  $h_{fg}$  = Kalor laten peembunan ( $J/kg$ ) ;  $\Delta t$  = Selang waktu ( $s$ )

Harga sifat-sifat air seperti kalor laten penguapan dan kalor laten pengembunan, dicari pada temperatur film ( $T_f$ ). Rumus temperatur film untuk proses pengembunan adalah sebagai berikut:

$$T_f = \frac{T_k + T_u}{2} \tag{12}$$

Dimana:  $T_u$  = Temperatur uap ( $K$ ) ;  $T_k$  = Temperatur kondensat ( $K$ )

**2.4 Alat destilasi**

**2.4.1 Laju detilasi**

Laju destilasi merupakan massa yang dihasilkan dari proses destilasi per satuan waktu. Massa yang dihasilkan dari proses ini adalah massa dari air yang terkondensasi. Berikut ini merupakan persamaan untuk menentukan laju destilasi dalam proses destilasi :

$$\dot{m} = \frac{m_c}{\Delta t} \tag{13}$$

dimana :  $\dot{m}$  = Laju Destilasi ( $kg / s$ ) ;  $m_c$  = Massa air yang terkondensasi ( $kg$ ) ;  $\Delta t$  = Selang Waktu ( $s$ )

**2.4.2 Efisiensi produk**

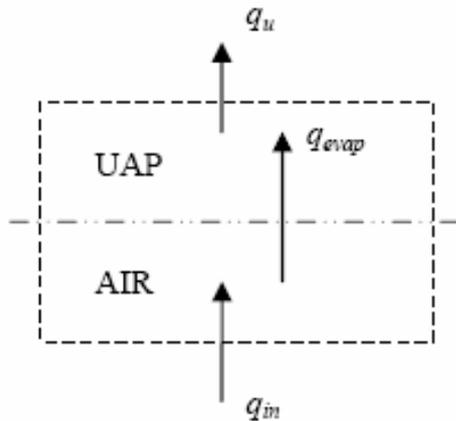
Efiaiensi produk adalah rasio antara massa produk yang dihasilkan / digunakan dengan masa produk yang diberikan ke sistem. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$\eta_p = \frac{m}{m_m} \times 100\% \tag{14}$$

dimana :  $\eta_p$  = Efisiensi produk (%) ;  $m$  = Massa air kondensat ( $kg$ ) ;  $m_m$  = Massa air yang masuk ke sistem ( $kg$ )

**2.4.3 Efisiensi Sistem Destilasi**

Efisiensi alat destilasi air merupakan perbandingan dari energi berguna dengan energi panas yang diberikan oleh briket ke sistem selama proses pembakaran ( $q_{in}$ ). Energi berguna merupakan energi panas yang digunakan dalam proses penguapan ( $q_{evap}$ ) dan energi panas yang digunakan saat pengembunan ( $q_c$ ). Sehingga dalam perhitungan efisiensi alat destilasi air akan terdapat dua efisiensi yaitu efisiensi untuk sistem air ( $\eta_{air}$ ) dan efisiensi untuk sistem uap ( $\eta_{uap}$ ) . Berikut ini merupakan gambar batasan sistem untuk alat destilasi air.



Gambar 1. Batasan sistem

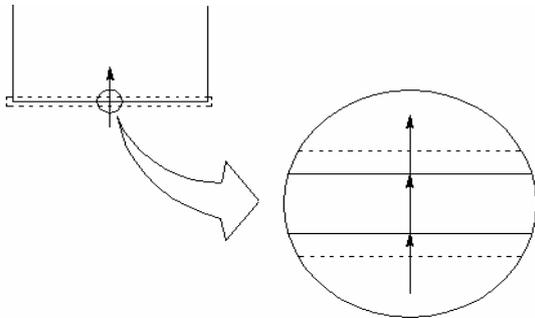
$$\eta_{air} = \frac{q_{evap}}{q_{in}} ; \eta_{uap} = \frac{q_c}{q_{evap}}$$

$$\eta_{tot} = \eta_{air} \cdot \eta_{uap} \rightarrow \eta_{tot} = \frac{q_{evap}}{q_{in}} \cdot \frac{q_c}{q_{evap}}$$

$$\eta_{tot} = \frac{q_c}{q_{in}} \times 100\% \quad (15)$$

Dimana :  $\eta_{tot}$  = Efisiensi alat destilasi air ;  $q_c$  = Laju energi kondensasi ( $W$ ) ;  $q_{in}$  = Laju energi masuk ( $W$ )

Untuk mengetahui laju energi masuk sistem ( $q_{in}$ ) kita tinjau keseimbangan energi pada plat basin. Laju energi masuk sistem ( $q_{in}$ ) merupakan energi panas yang memanaskan permukaan bawah plat basin.



Gambar 2. Keseimbangan energi pada permukaan bawah plat basin

Keseimbangan energi pada permukaan bawah plat basin adalah

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} + \dot{E}_g = \dot{E}_{st} \quad (16)$$

Dimana:  $\dot{E}_{in}$  = Laju energi masuk ( $Watt$ ) ;  $\dot{E}_{out}$  = Laju energi keluar ( $Watt$ ) ;  $\dot{E}_g$  = Laju energi bangkitan ( $Watt$ ) ;  $\dot{E}_{st}$  = Laju energi tersimpan ( $Watt$ )

Tidak ada energi yang dibangkitkan pada plat basin dan karena plat tipis menyebabkan energi yang

tersimpan sangat kecil, maka kondisi steady state cepat tercapai, sehingga

$$\dot{E}_g = 0 \text{ dan } \dot{E}_{st} = 0.$$

Keseimbangan energi menjadi:

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out} \quad (17)$$

$$q_{in} = q_{kond} + q_{konv}$$

Karena plat tipis maka panas pada permukaan bawah plat basin dengan segera berpindah ke permukaan atas plat basin(dasar basin) sehingga diasumsikan bahwa tidak ada perpindahan panas konduksi, maka persamaan 2.17 menjadi :

$$q_{in} = q_{konv} \quad (18)$$

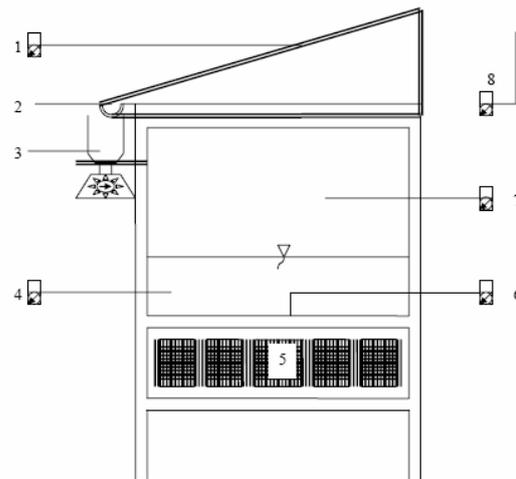
Jadi besarnya energi masuk sistem dapat ditentukan dengan menghitung besarnya laju perpindahan panas konveksi dari permukaan atas plat basin (dasar basin) ke air, yaitu:

$$q_{in} = h.A.(T_b - T_a) \quad (19)$$

Dimana:  $T_b$  = Temperatur dasar basin ( $K$ ) ;  $T_a$  = Temperatur air ( $K$ ).

### 3. Metode Penelitian

#### 3.1 Deskripsi Alat



- Keterangan :
1. Temperatur permukaan plat kondensasi ( $T_k$ )
  2. Saluran Kondensat
  3. Reservoar Air Bersih
  4. Temperatur Air Kotor
  5. Tempat Bahan Bakar
  6. Temperatur dasar Basin ( $T_b$ )
  7. Temperatur Uap ( $T_u$ )
  8. Temperatur Lingkungan ( $T_s$ )

Gambar 3. Alat destilasi air

Panas dari pembakaran briket batubara yang terdapat di (No.5) pada gambar 3 alat destilasi air, menyebabkan kenaikan temperatur permukaan bawah plat basin dan diteruskan ke permukaan atas plat basin (No.6) secara konduksi. Panas pada permukaan atas basin berpindah secara konveksi ke air (No.4). Akibat perpindahan panas ini akan terjadi peningkatan temperatur air sehingga terjadi penguapan. Uap yang terbentuk akan menempel dan mengembun pada permukaan bawah kaca penutup (No.1) sehingga terjadi proses kondensasi. Proses kondensasi (pengembunan) terjadi karena temperatur kaca lebih rendah dari temperatur jenuh uap air. Dari proses kondensasi terbentuklah kondensat. Air kondensat yang terbentuk pada kaca akan mengalir

ke bawah mengikuti kemiringan kaca penutup menuju saluran kondensat (No.2). Air kondensat ini ditampung pada suatu reservoir (No.3) atau alat penampung produk. Air kondensat yang tertampung pada reservoir ini merupakan air bersih hasil destilasi.

Dari semua parameter yang didapat dari hasil pengujian langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan dengan mensubstitusikan parameter tersebut ke dalam persamaan. Pertama yang dihitung adalah laju destilasi dengan menggunakan rumus (13) dengan  $m_c$  = massa air yang terkondensasi atau

selisih massa air kondensat pada saat itu dengan sebelumnya, dan  $\Delta t$  = digunakan 30 menit (1800 sekon), karena pengambilan data dilakukan pada selang waktu 30 menit. Selanjutnya menghitung efisiensi produk dengan menggunakan rumus (14), dengan  $m$  = Massa air kondensat artinya massa air yang tertampung pada reservoir dan  $m_{in}$  = Massa air yang masuk ke sistem, dalam pengujian ini digunakan bervariasi dari 1 kg, 2 kg, 3 kg, 4 kg, dan 5 kg.

**Tabel 1. Properties of saturated water [2]**

Temp., T °C	Saturation Pressure, P <sub>sat</sub> kPa	Density, ρ kg/m <sup>3</sup>		Enthalpy of Vapori- zation, h <sub>g</sub> kJ/kg	Specific Heat, C <sub>p</sub> kJ/kg · °C		Thermal Conductivity, k W/m · °C		Dynamic Viscosity, μ, kg/m · s		Prandtl Number, Pr		Volume Expansion Coefficient, β 1/K
		Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	1.792 × 10 <sup>-3</sup>	0.922 × 10 <sup>-4</sup>	13.5	1.00	-0.068 × 10 <sup>-3</sup>
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	1.519 × 10 <sup>-3</sup>	0.934 × 10 <sup>-4</sup>	11.2	1.00	0.015 × 10 <sup>-3</sup>
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	1.307 × 10 <sup>-3</sup>	0.946 × 10 <sup>-4</sup>	9.45	1.00	0.733 × 10 <sup>-3</sup>
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4186	1863	0.589	0.0179	1.138 × 10 <sup>-3</sup>	0.959 × 10 <sup>-4</sup>	8.09	1.00	0.138 × 10 <sup>-3</sup>
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	1.002 × 10 <sup>-3</sup>	0.973 × 10 <sup>-4</sup>	7.01	1.00	0.195 × 10 <sup>-3</sup>
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	0.891 × 10 <sup>-3</sup>	0.987 × 10 <sup>-4</sup>	6.14	1.00	0.247 × 10 <sup>-3</sup>
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	0.798 × 10 <sup>-3</sup>	1.001 × 10 <sup>-4</sup>	5.42	1.00	0.294 × 10 <sup>-3</sup>
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	0.720 × 10 <sup>-3</sup>	1.016 × 10 <sup>-4</sup>	4.83	1.00	0.337 × 10 <sup>-3</sup>
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	0.653 × 10 <sup>-3</sup>	1.031 × 10 <sup>-4</sup>	4.32	1.00	0.377 × 10 <sup>-3</sup>
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	0.596 × 10 <sup>-3</sup>	1.046 × 10 <sup>-4</sup>	3.91	1.00	0.415 × 10 <sup>-3</sup>
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	0.547 × 10 <sup>-3</sup>	1.062 × 10 <sup>-4</sup>	3.55	1.00	0.451 × 10 <sup>-3</sup>
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	0.504 × 10 <sup>-3</sup>	1.077 × 10 <sup>-4</sup>	3.25	1.00	0.484 × 10 <sup>-3</sup>
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	0.467 × 10 <sup>-3</sup>	1.093 × 10 <sup>-4</sup>	2.99	1.00	0.517 × 10 <sup>-3</sup>
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	0.433 × 10 <sup>-3</sup>	1.110 × 10 <sup>-4</sup>	2.75	1.00	0.548 × 10 <sup>-3</sup>
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	0.404 × 10 <sup>-3</sup>	1.126 × 10 <sup>-4</sup>	2.55	1.00	0.578 × 10 <sup>-3</sup>
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	0.378 × 10 <sup>-3</sup>	1.142 × 10 <sup>-4</sup>	2.38	1.00	0.607 × 10 <sup>-3</sup>
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	0.355 × 10 <sup>-3</sup>	1.159 × 10 <sup>-4</sup>	2.22	1.00	0.633 × 10 <sup>-3</sup>
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	0.333 × 10 <sup>-3</sup>	1.176 × 10 <sup>-4</sup>	2.08	1.00	0.656 × 10 <sup>-3</sup>
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	0.315 × 10 <sup>-3</sup>	1.193 × 10 <sup>-4</sup>	1.95	1.00	0.702 × 10 <sup>-3</sup>
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	0.297 × 10 <sup>-3</sup>	1.210 × 10 <sup>-4</sup>	1.85	1.00	0.716 × 10 <sup>-3</sup>
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	0.282 × 10 <sup>-3</sup>	1.227 × 10 <sup>-4</sup>	1.75	1.00	0.750 × 10 <sup>-3</sup>
110	143.27	950.6	0.8263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	0.255 × 10 <sup>-3</sup>	1.251 × 10 <sup>-4</sup>	1.58	1.00	0.798 × 10 <sup>-3</sup>
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	0.232 × 10 <sup>-3</sup>	1.296 × 10 <sup>-4</sup>	1.44	1.00	0.858 × 10 <sup>-3</sup>
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	0.213 × 10 <sup>-3</sup>	1.330 × 10 <sup>-4</sup>	1.33	1.01	0.913 × 10 <sup>-3</sup>
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	0.197 × 10 <sup>-3</sup>	1.365 × 10 <sup>-4</sup>	1.24	1.02	0.970 × 10 <sup>-3</sup>
150	475.8	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	0.183 × 10 <sup>-3</sup>	1.399 × 10 <sup>-4</sup>	1.16	1.02	1.025 × 10 <sup>-3</sup>
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	0.170 × 10 <sup>-3</sup>	1.434 × 10 <sup>-4</sup>	1.09	1.05	1.145 × 10 <sup>-3</sup>
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	0.160 × 10 <sup>-3</sup>	1.468 × 10 <sup>-4</sup>	1.03	1.05	1.178 × 10 <sup>-3</sup>
180	1002.1	887.3	5.153	2015	4410	2590	0.673	0.0364	0.150 × 10 <sup>-3</sup>	1.502 × 10 <sup>-4</sup>	0.983	1.07	1.210 × 10 <sup>-3</sup>
190	1254.4	876.4	6.389	1979	4450	2710	0.669	0.0382	0.142 × 10 <sup>-3</sup>	1.537 × 10 <sup>-4</sup>	0.947	1.09	1.280 × 10 <sup>-3</sup>
200	1553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	0.134 × 10 <sup>-3</sup>	1.571 × 10 <sup>-4</sup>	0.910	1.11	1.350 × 10 <sup>-3</sup>
220	2318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	0.122 × 10 <sup>-3</sup>	1.641 × 10 <sup>-4</sup>	0.865	1.15	1.520 × 10 <sup>-3</sup>
240	3344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	0.111 × 10 <sup>-3</sup>	1.712 × 10 <sup>-4</sup>	0.836	1.24	1.720 × 10 <sup>-3</sup>
260	4688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	0.102 × 10 <sup>-3</sup>	1.788 × 10 <sup>-4</sup>	0.832	1.35	2.000 × 10 <sup>-3</sup>
280	6412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	0.094 × 10 <sup>-3</sup>	1.870 × 10 <sup>-4</sup>	0.854	1.49	2.380 × 10 <sup>-3</sup>
300	8581	713.8	46.15	1405	5750	5980	0.548	0.0695	0.086 × 10 <sup>-3</sup>	1.965 × 10 <sup>-4</sup>	0.902	1.69	2.950 × 10 <sup>-3</sup>
320	11,274	667.1	64.57	1239	6540	7900	0.509	0.0836	0.078 × 10 <sup>-3</sup>	2.084 × 10 <sup>-4</sup>	1.00	1.97	—
340	14,586	610.5	92.62	1028	8240	11,870	0.469	0.110	0.070 × 10 <sup>-3</sup>	2.255 × 10 <sup>-4</sup>	1.23	2.43	—
360	16,651	528.3	144.0	720	14,690	25,800	0.427	0.178	0.060 × 10 <sup>-3</sup>	2.571 × 10 <sup>-4</sup>	2.06	3.73	—
374.14	22,090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 <sup>-3</sup>	4.313 × 10 <sup>-5</sup>	—	—	—

Note 1: Kinematic viscosity  $\nu$  and thermal diffusivity  $\alpha$  can be calculated from their definitions,  $\nu = \mu/\rho$  and  $\alpha = k/\rho C_p = \nu/Pr$ . The temperatures 0.01°C, 100°C, and 374.14°C are the triple-, boiling-, and critical-point temperatures of water, respectively. The properties listed above (except the vapor density) can be used at any pressure with negligible error except at temperatures near the critical-point value.

Note 2: The unit kJ/kg · °C for specific heat is equivalent to kJ/kg · K, and the unit W/m · °C for thermal conductivity is equivalent to W/m · K.

Source: Viscosity and thermal conductivity data are from J. V. Sengers and J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986): pp. 1291–1322. Other data are obtained from various sources or calculated.

Langkah selanjutnya adalah menghitung  $q_c =$  energi kondensasi langkah pertama yang ditentukan adalah temperatur film ( $T_f$ ) dengan menggunakan persamaan (12),  $T_u =$  Temperatur uap ( $K$ ) didapat dari hasil pengujian,  $T_k =$  Temperatur kondensat ( $K$ ) didapat dari hasil pengujian, kemudian  $h_{fg} =$  Kalor laten penguapan ( $J/kg$ ) ditentukan dari Tabel 1. properties of saturated water [2] pada lampiran, dengan memasukkan nilai temperatur air ( $T_f$ );  $\Delta t =$  selang waktu digunakan 30 menit (1800 detik).

Menghitung energi masuk sistem dengan menggunakan rumus (15) dengan  $T_b =$  Temperatur dasar basin ( $K$ ) didapat dari hasil pengujian,  $T_a =$  Temperatur air ( $K$ ) didapat dari hasil pengujian,  $A =$  Luas permukaan perpindahan panas ( $m^2$ ) dihitung dengan luas plat basin yang dalam hal ini terbuat dari aluminium dengan ukuran panjang x lebar x tinggi berturut – turut adalah 0,5 m x 0,5 m x 0,25 m, jadi luas permukaan perpindahan panasnya adalah  $0,5 \times 0,5 = 0,25 m^2$ . Selanjutnya menghitung  $h =$  Koefisien perpindahan panas konveksi ( $W/m^2 \cdot K$ ), disesuaikan dengan kondisi aliran yang dalam hal ini ditentukan oleh nilai *Rayleigh Number* ( $Ra_L$ ) yaitu perkalian antara *Grashof Number* ( $Gr_L$ ) dengan *Prandtl Number* ( $Pr$ ) atau langsung menggunakan persamaan (3), dengan  $g =$  Percepatan gravitasi ( $9,81 m/s^2$ );  $\beta =$  Koefisien ekspansi volume ( $1/K$ ) ditentukan dari Tabel 1. Properties of saturated water [2] pada lampiran, dengan memasukkan nilai temperatur air ( $T_a$ ),  $T_s = T_b =$  Temperatur permukaan ( $K$ ) diambil dari hasil pengujian;  $T_\infty = T_a$  Temperatur dari fluida ( $K$ ) diambil dari hasil pengujian;  $L_c =$  Panjang karakteristik ( $m$ );  $\nu =$  Viskositas kinematik fluida ( $m^2/s$ ) ditentukan dari *properties of saturated water* [2] pada tabel 1, dengan memasukkan nilai temperatur air ( $T_a$ ),  $Pr =$  Prandtl Number ditentukan dari tabel A-9 properties of saturated water dalam buku Cengel Yunus, A [2] dengan memasukkan nilai temperatur air ( $T_a$ ), jika nilai pengujian tidak terdapat di dalam tabel bisa dihitung dengan metoda interpolasi. Setelah didapat *Rayleigh Number* ( $Ra_L$ ) selanjutnya disesuaikan dengan persamaan (5) atau (6). Selanjutnya menentukan nilai  $k =$  Konduktivitas termal fluida ( $W/m \cdot K$ ) dari Tabel 1. Properties of saturated water [2] pada lampiran, dengan memasukkan nilai temperatur air ( $T_a$ ), kemudian semua parameter yang didapat dimasukkan ke persamaan (8) untuk menentukan nilai  $h =$  Koefisien perpindahan panas konveksi ( $W/m^2 \cdot K$ ). Setelah didapat energi masuk sistem dan energi kondensasi maka langkah selanjutnya adalah menghitung efisiensi sistem, dengan menggunakan persamaan (15) Selanjutnya semua performansi sistem destilasi ini dimasukkan dalam suatu grafik untuk selanjutnya dianalisa.

#### 4. Analisa Hasil Penelitian

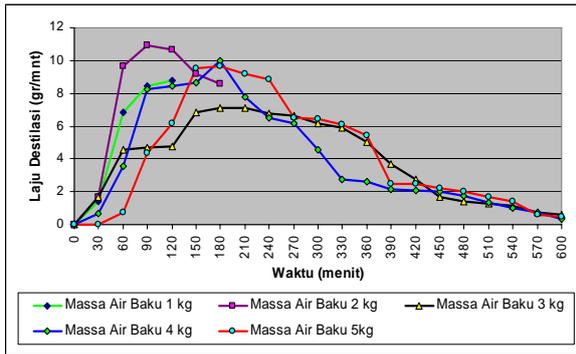
Dari gambar 4, 5 dan 6 dapat dilihat bahwa laju destilasi, efisiensi produk dan efisiensi sistem di awal proses sama dengan nol. Hal ini dikarenakan oleh di awal proses belum dihasilkan produk destilasi

yang berupa kondensat, sehingga kondensat pada awal proses sama dengan nol, hal ini mempengaruhi massa yang terkondensasi. Massa yang terkondensasi berpengaruh terhadap laju destilasi, efisiensi produk, dan energi kondensasi. Energi kondensasi berpengaruh terhadap efisiensi sistem. Laju destilasi dan efisiensi produk berbanding lurus dengan massa air yang terkondensasi. Selanjutnya laju destilasi mengalami peningkatan, hal ini dikarenakan sudah terbentuk kondensat yang merupakan produk destilasi. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa massa yang tertampung dalam reservoa terus mengalami peningkatan seiring dengan perubahan waktu.

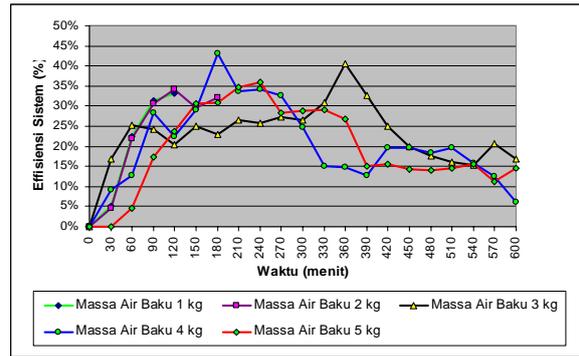
Dari kelima variasi massa air baku didapatkan bahwa variasi dengan 1 kg air baku mempunyai efisiensi produk total sebesar 76,25 % ; 2 kg air baku mempunyai efisiensi produk total sebesar 76 % ; 3 kg air baku mempunyai efisiensi produk total sebesar 80,42 % ; 4 kg air baku mempunyai efisiensi produk total sebesar 61 % , dan 5 kg air baku mempunyai efisiensi produk total sebesar 51,75 % hal ini dapat dilihat pada gambar 5. Sedangkan untuk efisiensi sistem dari kelima variasi massa air baku didapatkan bahwa variasi dengan 1 kg air baku mempunyai efisiensi sistem rata – rata sebesar 18,42 % ; 2 kg air baku mempunyai efisiensi sistem rata – rata sebesar 21,84 % ; 3 kg air baku mempunyai efisiensi sistem rata – rata sebesar 22,67 % ; 4 kg air baku mempunyai efisiensi sistem rata – rata sebesar 20,22 % , dan 5 kg air baku mempunyai efisiensi sistem rata – rata sebesar 19,32 % , hal ini dapat dilihat pada gambar 4.

Selama pengujian berlangsung diperoleh bahwa setiap perubahan yang terjadi pada energi masuk yang diterima oleh sistem destilasi akan mempengaruhi proses evaporasi, kondensasi dan laju destilasi. Semakin tinggi energi masuk, maka semakin besar laju destilasi. Hal ini dikarenakan oleh semakin tinggi energi masuk, maka proses evaporasi menjadi semakin cepat kemudian diikuti oleh semakin cepatnya proses kondensasi, sehingga produksi kondensat menjadi semakin banyak. Produksi kondensat banyak, maka laju destilasi menjadi meningkat. Dari produksi kondensat yang banyak berpengaruh ke energi kondensasi, hal ini akan mempengaruhi efisiensi sistem. Energi kondensasi berbanding lurus dengan efisiensi sistem.

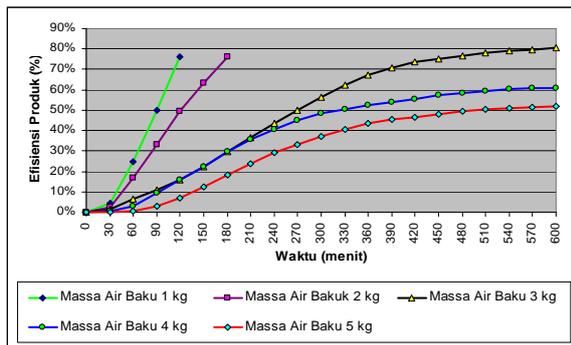
Dari hasil yang diperoleh bahwa kecilnya efisiensi sistem yang dihasilkan pada alat destilasi ini disebabkan oleh banyaknya losses (kehilangan) panas secara konduksi, dimana loses panas ini akan mengurangi besarnya energi kondensasi. Dengan kecilnya energi kondensasi, maka efisiensi total dari sistem menjadi kecil pula. Loses panas secara konduksi disebabkan oleh sistem destilasi ini tidak diisolasi, disamping itu disebabkan oleh adanya kotoran dari air baku yang mengendap pada dasar basin.



Gambar 4. Grafik Laju Destilasi Vs Waktu



Gambar 5. Grafik Efisiensi Produk Vs Waktu



Gambar 6. Grafik Efisiensi Sistem Vs Waktu

### 5. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisa data-data hasil penelitian yang telah dilaksanakan terhadap sistem destilasi dengan memvariasikan massa air baku, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Massa air baku yang banyak menyebabkan perpindahan panas konveksi menjadi lebih lama, hal ini akan berpengaruh ke proses kondensasi. Proses kondensasi berpengaruh ke produksi kondensat. Produksi kondensat mempengaruhi laju destilasi dan efisiensi produk, sedangkan proses kondensasi mempengaruhi efisiensi sistem. Laju destilasi, efisiensi produk dan efisiensi sistem merupakan performansi sistem. Jadi jelas bahwa massa air baku dapat mempengaruhi performansi sistem.
2. Dari kelima variasi massa air baku dapat diketahui bahwa variasi dengan menggunakan 3 kg air baku yang menghasilkan performansi yang paling besar. Dengan nilai performansinya : Laju destilasi rata – rata = 3,829 gr/mnt ; efisiensi produk total = 80,42 % ; dan efisiensi sistem rata – rata = 22,67 %

### Daftar Pustaka

- [1] Adrian Bejan. 1993. *Heat Transfer*. John Wiley. New York.
- [2] Cangel Yunus, A. 1997. *Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer*. The McGraw Hill. New York.

- [3] Djatmiko Ichani. 1999. *Diktat Perpindahan Panas II*. Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.

- [4] Frank Kreith. 1986. *Principle of Heat Transfer (Prinsip – Prinsip Perpindahan Panas)*. Harper and roe Publisher. Diterjemahkan oleh Arko Prijono. Erlangga. Jakarta.

- [5] Incropera Prank P and David D. Hewitt. 1996. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Fourth edition. John Wiley. New York.

- [6] Ricki Murti, Md. 2003. *Diktat Perpindahan Panas Dasar I*. Teknik Mesin Universitas Udayana. Denpasar.