



# VISI ✓

Volume 25

Nomor 1

Pebruari 2017

- Benarkah Saya Tidak Hamil  
Dr. Leo Simanjuntak, SpOG
- Studi Substitusi Terigu Dengan Pasta Pisang Awak  
(Musa paradisiaca var. awak) Pada Pembuatan Mi Basah  
Hotman Manurung<sup>1)</sup> dan Rosnawya Simanjuntak<sup>2)</sup>
- Kaji Eksperimental Pendingin Air Minum Dengan Volume 3 Liter  
Pada Sistem Refrigerasi Pada Temperatur 5°C  
Parulian Siagian<sup>1)</sup> Waldemar Nabaho<sup>2)</sup> Meiman Jaya Harefa<sup>3)</sup>
- The Effect Of Semantic Mapping Startegy On Students Reading Comprehension  
At The Third Semester Of English Department Students  
Nenai Triana Sinaga
- Analisis Umpasa Pada Upacara Adat Perkawinan Batak Toba  
Ditinjau Dari Segi Antropolinguistik  
Roselyn Nainggolan<sup>1)</sup> dan Harmita Novaria Panggabean<sup>2)</sup>
- Analisa Logam Berat Pada Lindi Dari  
Tempat Pemhuangan Akhir (TPA) Namo Bintang  
Mariana Br. Surbakti<sup>1)</sup> dan Poltak Panjaitan<sup>2)</sup>
- Strategi Pengembangan Komoditi Unggulan Pangan dan Buah Untuk Pasar Agroindustri di  
Kabupaten DeliSerdang Propinsi Sumatera Utara  
Albiaa br. Ginting<sup>1)</sup>, Jongkers Tampubolon<sup>2)</sup>, Johndikson Arintonang<sup>3)</sup>
- Sistem Integrasi Tanaman Semusim: Sawi, Koi dan Tomat dengan Ternak Babi  
di Kecamatan Paranginan Kabupaten Humbang Hasundutan  
Gerald P. Siahaan<sup>1)</sup>, Hotden L. Nainggolan<sup>2)</sup> Johndikson Arintonang<sup>3)</sup>, Mangihut Hutapea<sup>4)</sup>
- Pengaruh Frekuensi Penyiraman terhadap Pertumbuhan dan Produksi  
Tiga Varietas Bawang Merah (*Allium cepa* var. *ascalonicum* L.)  
Tumter Gultom<sup>1)</sup> dan Siska Panjaitan<sup>2)</sup>
- Pengelolaan Alokasi Dana Desa di Desa Se-Kecamatan Simanindo Kabupaten Samosir  
Rimba C. D. Sidabutar
- Implikasi Penerapan Model Pembelajaran Demonstrasi Terhadap Prestasi Belajar Mahasiswa  
Pada Matakuliah Kewirausahaan  
Poltak Panjaitan<sup>1)</sup> dan Mariana Br. Surbakti<sup>2)</sup>
- Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pendapatan Pedagang Rujak  
Simpang Jodoh Pasar Tujuh Tembung  
Mel Hotana Marlani Munte

# VISI

Majalah Ilmiah  
Universitas HKBP Nommensen

Izin Penerbitan dari Departemen Penerangan Republik Indonesia  
STI No. 1541/SK/DITJEN PPG/STI/1990  
7 Pebruari 1990

- Penerbit: Universitas HKBP Nommensen  
Penasihat: Ketua BPH Yayasan  
Rektor  
Pembina: Pembantu Rektor I  
Pembantu Rektor IV  
Ketua Pengarah: Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian  
Masyarakat  
Ketua Penyunting: Prof.Dr.Monang Sitorus, M.Si  
Anggota Penyunting: Prof.Dr. Monang Sitorus, M.Si  
Ir. Rosnawyta Simanjuntak, MP  
Dr. Richard Napitupulu, ST.,MT  
Dr. Jadongan Sijabat, SE.,M.Si  
Junita Batubara, S.Sn.,M.Sn.,PhD  
Prof. Dr. Hasan Sitorus, MS  
Dr. Budiman Sinaga, SH.,MH  
Dr. Sondang Manik, M.Hum  
Lay out: Alida Simanjuntak, S.Pd  
Tata Usaha: Ronauli Panjaitan, A.Md

Alamat Redaksi:

**Majalah Ilmiah "VISI"**  
**Universitas HKBP Nommensen**  
Jalan Sutomo No.4A Medan 20234  
Sumatera Utara – Medan

Majalah ini diterbitkan tiga kali setahun: Pebruari, Juni dan Oktober  
Biaya langganan satu tahun untuk wilayah Indonesia  
Rp 30.000 dan US\$ 5 untuk pelanggan luar negeri (tidak termasuk ongkos kirim)  
Biaya langganan dikirim dengan pos wesel, yang ditujukan kepada Pimpinan Redaksi

*Petunjuk penulisan naskah dicantumkan pada halaman dalam  
Sampul belakang majalah ini  
E-mail : visi @ yahoo .co .id*

## KAJI EKSPERIMENTAL PENDINGIN AIR MINUM DENGAN VOLUME 3 LITER PADA SISTEM REFRIGERASI PADA TEMPERATUR 5<sup>0</sup>C

Oleh. Parulian Siagian<sup>1)</sup> Waldemar Naibaho<sup>2)</sup> Meiman Jaya Harefa<sup>3)</sup>

1.2 Dosen Tetap Prodi Teknik Mesin Fak Teknik

Universitas HKBP Nommensen.

3. Mahasiswa Prodi Teknik Mesin UHN

### Abstrac

*In this cooling process will be conducted research on drinking water, how long it will be cooled by the refrigerator, which is placed beside the bottom of the tube drinking water, to achieve a relatively low temperature and the amount of heat absorbed by the refrigerator of drinking water. All parts of the outer tube so that the hot water is isolated from the outside only a few enter into the drinking water, which amount will be calculated during the cooling process. In this cooling process, when the water has reached the specified conditions, the cooling machine will stop automatically. In this cooling process, the research methods that will be used is an experimental method, wherein the temperature of the water is the independent variable that will be determined later. And from these tests can be concluded that in the cooling process for 35 minutes obtained by the heat released from the drinking water is (105.84 kJ) and the added value gained heat into water (0,313 Watt) or (0.0869) Kj / h.*

*Keywords : Water, evaporator, condenser, compressor and expansion valve (capillary pipe).*

### 1. Pendahuluan

Konsumsi air minum dengan temperature yang sudah tertentu saat ini sudah bisa dibuat sesuai dengan kebutuhan. Temperatur mendekati titik beku (rendah), temperature kamar bahkan temperature mendekati titik didih (tinggi).

Untuk menyediakan air minum dengan temperatur rendah maka diperlukan suatu wadah air yang dilengkapi dengan sistem pendingin. Panas dari air minum dipindahkan ke evaporator dan panas tersebut dibawa oleh refrigeran ke kondensor dan selanjutnya dilepas ke udara luar. Sistem pendingin akan berhenti bekerja jika temperatur air telah mencapai besaran yang ditentukan dan diinginkan. Jika air minum yang dingin ingin dikeluarkan dapat dilakukan dengan menekan katupnya sehingga air keluar dengan temperature tertentu dan jika yang diinginkan air minum bertemperatur kamar maka dapat langsung dikeluarkan dari wadah air dengan menekan katupnya sehingga air keluar.

**1.1. Tujuan**

Untuk mendinginkan 3 liter air minum dari temperatur ruangan hingga mencapai temperatur 5°C

**1.2. Manfaat**

Sebagai minuman yang dikonsumsi manusia di manapun berada misalnya: a. bagi keluarga dirumah, b. bagi tenaga kerja dikantor, c. bagi rumah sakit, d. bagi restoran dan lain sebagainya

**1.3. Batasan Masalah**

Air minum biasa yang dapat dikonsumsi manusia secara sehat dengan temperature 5° C yang sudah dimasak terlebih dahulu diatas 100°C.

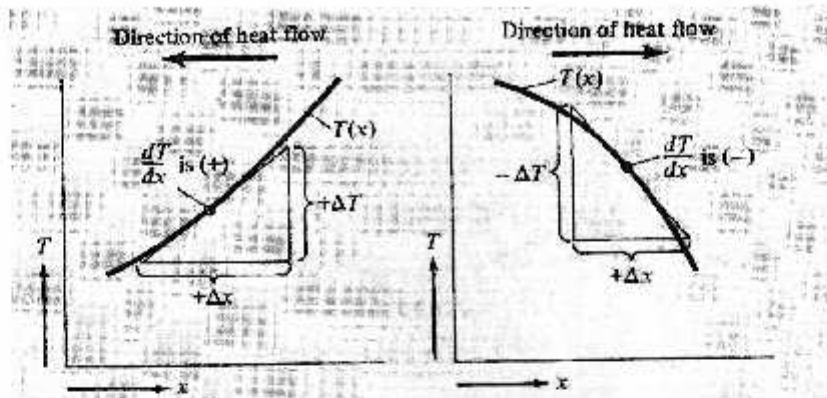
**2. Tinjauan Pustaka**

**2.1. Perpindahan Panas Konduksi Satu Dimensi yang Stedi**

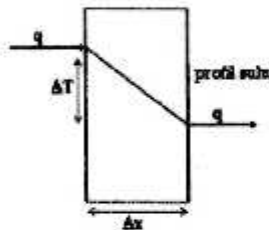
Proses dengan mana panas mengalir dari bagian yang bertemperatur lebih tinggi ke bagian yang beeteratur lebih rendah di dalam satu media, padat, cair atau gas atau antar media-media yang berlainan yang bersinggungan secara langsung disebut konduksi. Dalam aliran panas secara konduksi , perpindahan energi panas terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Dalam keadaan stedi untuk satu dimensi persamaan dasarnya dapat ditulis sebagai berikut

$$q_k = - k A Dt/ dx \dots\dots\dots(1)$$

- dimana :
- $q_k$  = laju perpindahan panas secara konduksi, Watt
  - $k$  = konduktivitas atau hantaran panas bahan, W/m K
  - $A$  = luas permukaan perpindahan panas, m<sup>2</sup>
  - $dt/ dx$  = factor temperatur pada penampang, yaitulaju perubahan temperatur T terhadap jarak dalam arah aliran panas x, K/ m



Gambar 2.1. Bagan yang menunjukkan arah aliran panas.



Hk. Fourier:  $q = -kA \frac{dT}{dx} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \longrightarrow q = \frac{\Delta T}{\Delta x / kA}$

Gambar 2.2. Distribusi temperatur untuk konduksi keadaan steady melalui dinding datar.

**Dinding Datar.**

Untuk aliran panas satu-dimensi, konduksi panas melalui dinding datar untuk factor5tore yang seragam baik pada permukaan yang dingin maupun yang panas, laju perpindahan panas dengan cara konduksi. Frank Kreith & Mark S. Bohn, hal 6, melalui suatu bahan yang 2854actor2854t adalah

$$q_k = \frac{kA}{L} (T_{panas} - T_{dingin}) \dots \dots \dots (2)$$

dimana :  $L/k \cdot A$  = tahanan panas

**Slinder Berlubang.**

Laju aliran panas satu dimensi secara radial dengan cara konduksi. Melalui silinder berpenampang lingkaran yang berlubang adalah

$$q_k = -k A dt/ dr \dots \dots \dots (3)$$

$$q_k = -k 2\pi r l dt/ dr \dots \dots \dots (4)$$

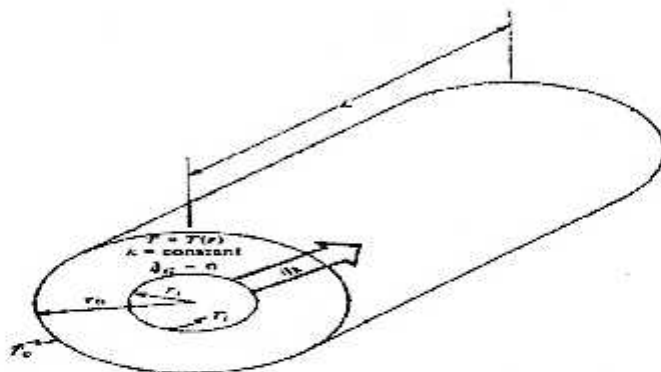
$$T_i - T_o = \frac{q_k}{2\pi k l} \ln \frac{r_o}{r_i} \dots \dots \dots (5)$$

$$q_k = 2\pi k l \frac{T_i - T_o}{\ln(\frac{r_o}{r_i})} \dots \dots \dots (6)$$

dimana :  $A = 2\pi r l$ ,  $r$  = jari-jari silinder (m),  $l$  = panjang silinder (m)

$dt/dr$  = gradient temperatur dalam arah radial (K/m)

$T_i$  = temperatur bagian dalam, (K),  $T_o$  = temperatur bagian luar, K

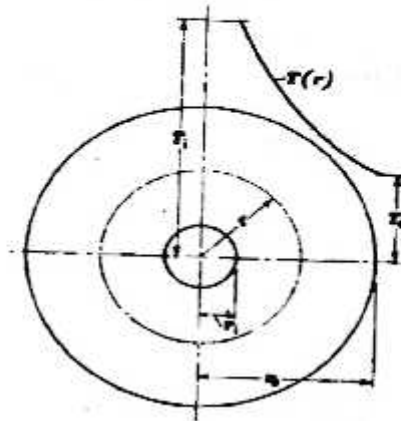


**Gambar 2.3.**Konduksi melalui silinder berlubang.

## 2.2 Pindahan Panas Konveksi Satu Dimensi

Pindahan panas konveksi dapat didefinisikan sebagai proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Perpindahan panas konveksi diklasifikasikan atas 2 bagian :

1. konveksi bebas (konveksi alamiah) dan
2. konveksi paksa.



**Gambar 2.4.** Distribusi temperatur dalam silinder berlubang.

Konveksi bebas bila gerakan mencampur berlangsung semata-mata sebagai akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh gradient temperatur. Bila gerakan mencampur berlangsung oleh karena suatu alat dari luar, seperti blower, pompa dan sebagainya, maka prosesnya disebut konveksi paksa. Besar laju perpindahan panas secara konveksi antara suatu permukaan dan suatu fluida :

$$dq_c = h_c Da (T_s - T_\infty) \dots\dots\dots 7$$

- dimana :
- $q_c$  = laju perpindahan panas secara konveksi (W)
  - $h_c$  = koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata (W/m<sup>2</sup> K)
  - $A$  = luas permukaan perpindahan panas (m<sup>2</sup>)
  - $T_s$  = temperatur permukaan (K)
  - $T_\infty$  = temperatur fluida (K)

**2.3 Alat Penukar Panas**

Penukar panas adalah suatu alat yang berfungsi untuk memindahkan panas dari satu fluida yang bertemperatur lebih tinggi ke fluida lainnya yang bertemperatur lebih rendah. Dilihat dari proses pemindahan panasnya alat penukar panas dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu :

- a. Sistem kontak langsung, alat penukar kalor ini mencampurkan kedua fluida panas dan dingin yang akhirnya kedua fluida menjadi sama.

- b. Sistem kontak taklangsung, alat penukar kalor ini memampatkan satu fluida panas dan satu fluida dingin secara terpisah sehingga fluida panas akan memindahkan panasnya ke fluida dingin melalui dinding pemisah.
- c. Sistem regeneratif, alat penukar kalor ini fluida panas dan fluida dingin secara bergantian melewati tempat yang sama didalam alat penukar kalor, sehingga panas dari fluida panas dipindahkan ke inti alat penukar kalor dan selanjutnya dipindahkan ke fluida dingin.

### Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

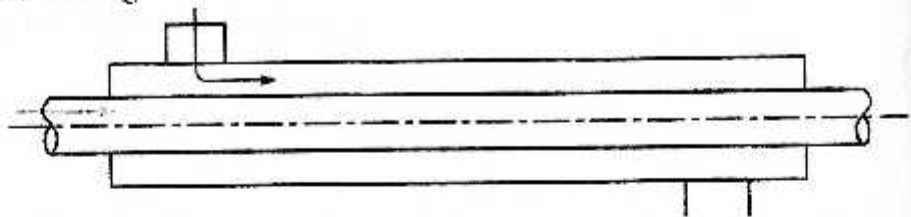
Dalam hal ini ditinjau pada alat penukar panas pipa ganda Gambar 2.5(a), dimana satu fluida mengalir di dalam tabung, sedang yang satu lagi mengalir di dalam ruang annulus diantara kedua tabung. Perpindahan panas menyeluruh didapat dari jaringan panas pada Gambar 2.5(b), yaitu sebagai.

$$q = (T_a - T_b) / [1/h_i A_i + \ln(r_o/r_i)/2\pi k l + 1/h_o A_o]$$

dimana :

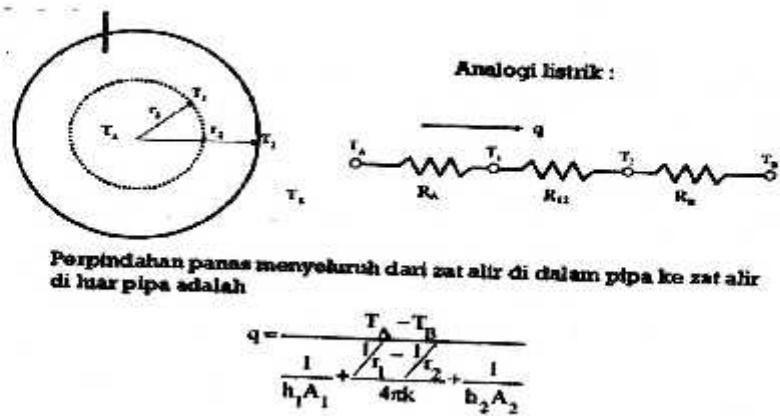
$q$  = perpindahan panas menyeluruh dari fluida panas ke fluida dingin, J/jam

$T_a$  = temperatur fluida yang panas, °C,  $T_b$  = temperatur fluida yang dingin, °C  $h$  = koefisien perindahan panas konveksi,  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ,  $A$  = luas permukaan pindahan panas,  $m^2$   $r$  = jari-jari tabung, m,  $i$  &  $o$  = bagian dalam dan luar tabung



(a)





Perpindahan panas menyeluruh dari zat alir di dalam pipa ke zat alir di luar pipa adalah

(b)

Gambar 2.5.(a) Penukar kalor pipa ganda, (b) Jaringan tahanan panas untuk perpindahan panas menyeluruh.

Koefisien perpindahan panas menyeluruh bisa didasarkan atas luas bagian dalam ( $U_i$ ) atau luas bagian luar dari tabung ( $U_o$ ), seperti berikut ini

$$U_i = 1/[1/h_i + A_i \ln(r_o/r_i)/2\pi kl + A_i/h_o A_o]$$

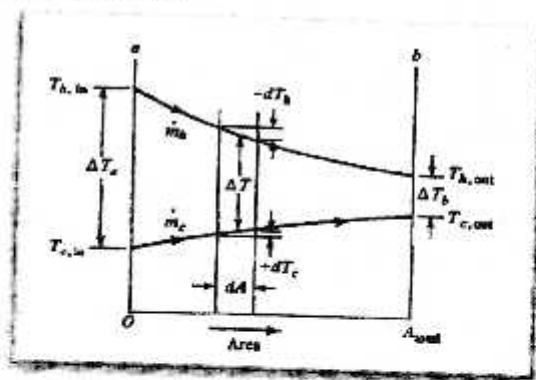
$$U_o = 1/[A_o/h_i A_i + A_o \ln(r_o/r_i)/2\pi kl + 1/h_o]$$

Sehingga laju perpindahan panas dapat dihitung dari persamaan berikut

$$q = U_i A_i \Delta T_{\text{menyeluruh}} = U_o A_o \Delta T_{\text{menyeluruh}}$$

**Beda Temperature Rata-Rata .**

Temperatur fluida-fluida di dalam alat penukarkalor umumnya berbeda dari satu titik ke titik lainnya, pada waktu panas mengalir dari fluida yang lebih panas ke fluida yang lebih dingin.



Gambar 2.6. Distribusi temperatur dalam penukar panas aliran-scarah lintas-tunggal.

Laju perpindahan panas dalam alat penukar kalordapat dituliskan sebagai berikut

$$dq = U Da\Delta T \dots\dots\dots(8)$$

dimana :  $dq$  = diferensial laju perpindahan panas, Watt  
 $U$  = konduktansi satuan keseluruhan,  $W/m^2 K$   
 $da$  = diferensial luas permukaan perpindahan panas,  $m^2$   
 $\Delta T$  = bedatemperature, K

Keseimbangan energi pada luas diferensial  $Da$  menghasilkan

$$dq = - m_h c_{ph}Dt_h = - m_c c_{pc}Dt_c = U Da (T_h T_c) \dots\dots\dots(9)$$

dimana :  $m$  = laju aliran massa,  $kg/dtk$   
 $c_p$  = panas jenis pada tekanan konstan,  $W/kg K$   
 $T_h$  = temperature fluida panas, K  
 $T_c$  = temperature fluida dingin, K  
 $h$  dan  $c$  = indeks untuk menyatakan panas dan dingin

Keseimbangan panas dari lubang masuk dan lubang keluar

$$-C_h (T_h - T_{hm}) = C_c (T_c - T_{cm}) \dots\dots\dots(10)$$

Dimana :  $C_h = m_h c_{ph}$  = laju aliran kapasitas panas per jam untuk fluida panas

$C_c = m_c c_{pc}$  = laju aliran kapasitas panas per jam untuk fluidadidingin

Indeks  $m$  berarti masuk  
 Indeks  $k$  berarti keluar

Dari persamaan (10) harga  $T_h$  dapat ditentukan

$$T_h = T_{hm} - (C_c / C_h) (T_c - T_{cm}) \dots\dots\dots(11)$$

Dari persamaan diatas dapat kita peroleh

$$T_h - T_c = - (1 + C_c / C_h) T_c + (C_c / C_h) T_{cm} - T_{hm} \dots\dots\dots(12)$$

Dengan memasukkan  $T_h - T_c$  dari persamaan (5) kedalam persamaan (2) diperoleh :

$$Dt_c - [1 + (C_c / C_h) T_c + (C_c / C_h) T_{cm} + T_{hm}] = UdA / C_c \dots\dots\dots(13)$$

dengan mengintegrasikan persamaan (13) pada seluruh panjang penukar panas menghasilkan

$$\ln = - \left( \frac{1}{C_c} + \frac{1}{C_h} \right) UA \dots\dots\dots(14)$$

$$\ln \left[ \frac{\left(1 + \frac{C_c}{C_h}\right) (T_{cm} - T_{ck}) + T_{cm} + T_{hm}}{T_{hm} - T_{cm}} \right] = - \left( \frac{1}{C_c} + \frac{1}{C_h} \right) UA \dots \dots \dots (15)$$

Dari persamaan (10) dapat diperoleh

$$C_c/C_h = -(T_{hk} - T_{hm}) / (T_{ck} - T_{cm}) \dots \dots \dots (16)$$

Persamaan (16) dapat dipergunakan untuk menyamakan kapasitas-kapasitas panas per jam dalam persamaan (15), seperti berikut ini.

$$\ln \left( \frac{T_{hk} - T_{ck}}{T_{hm} - T_{cm}} \right) = [(T_{hk} - T_{ck}) - (T_{hm} - T_{cm})] \frac{UA}{q} \dots \dots \dots (17)$$

Karena  $q = C_c (T_{ck} - T_{cm}) = C_h (T_{hm} - T_{hk})$

Jika kita tuliskan  $T_h - T_c = \Delta T$  maka persamaan (17) dapat ditulis

$$q = UA \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln \Delta T_a / \Delta T_b} \dots \dots \dots (18)$$

Dimana indeks a dan b adalah menunjuk kepada masing-masing ujung penukar panas, lihat Gambar 2.5.

Persamaan (18) dapat dibuat dengan menggantikan perbandingan temperatur menjadi suatu beda factor efektif rata-rata  $\bar{\Delta T}$  yang defenisinya

$$q = UA \bar{\Delta T} \dots \dots \dots (19)$$

Dari persamaan (18) dan (19) kita peroleh bahwa untuk aliran searah atau aliran lawan:

$$\bar{\Delta T} = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln \frac{\Delta T_a}{\Delta T_b}} \dots \dots \dots (20)$$

dimana  $\bar{\Delta T}$  = beda temperatur keseluruhan rata-rata logaritmik

**Efektifitas Alat Penukar Panas**

Keefektifan penukar panas adalah perbandingan laju perpindahan panas yang sebenarnya dalam penukar panas tertentu terhadap laju perpindahan panas maksimum yang mungkin. Yang disebutkan belakangan adalah diperoleh dalam alat penukar panas aliran lawan dengan luas perpindahan panas yang tak hingga.

Keefektifan, Frank Kreith & Mark S. Bohn, hal 407-409, tersebut dapat dituliskan:  $\epsilon$

$$\epsilon = \frac{Ch(Thm - Thk)}{Cmin(Thm - Tcm)} \dots \dots \dots (21)$$

Atau

$$\epsilon = \frac{Cc(Tck - Tcm)}{Cmin(Thm - Tcm)} \dots \dots \dots (22)$$

dimana :  $C_{min}$  = harga  $m_h c_{ph}$  atau  $m_c c_{pc}$  yang lebih kecil

Laju perpindahan panasnya dapat ditentukan dari persamaan

$$q = \epsilon C_{min} (T_{hm} - T_{cm}) \dots \dots \dots (23)$$

Dimana :

$$\epsilon C_{min} (T_{hm} - T_{cm}) = C_c (T_{ck} - T_{cm}) - C_h (T_{hm} - T_{hk})$$

Selanjutnya untuk alat penukar kalor aliran searah kita peroleh :

$$\ln \left[ 1 - \epsilon \left( \frac{C_{min}}{C_h} + \frac{C_{min}}{C_c} \right) \right] = - \left( \frac{1}{C_c} + \frac{1}{C_h} \right) UA$$

Atau

$$1 - \epsilon \left( \frac{C_{min}}{C_h} + \frac{C_{min}}{C_c} \right) = e^{-\left(\frac{1}{C_c} + \frac{1}{C_h}\right)UA}$$

Selanjutnya dengan menyelesaikan untuk  $\epsilon$  diperoleh

$$\epsilon = \frac{1 - e^{-\left(1 + \frac{Ch}{Cc}\right)UA/Ch}}{\frac{C_{min}}{Ch} + \frac{C_{min}}{Cc}} \dots \dots \dots (24)$$

Selanjutnya dapat dituliskan keefektifan dari alat penukar kalor untuk aliran searah dapat ditulis

$$\epsilon = \frac{1 - e^{-\left(1 + \frac{C_{min}}{C_{maks}}\right)UA/C_{min}}}{1 + C_{min}/C_{maks}} \dots \dots \dots (25)$$

dimana :  $UA/C_{min}$  = jumlah satuan perpindahan panas (NTU)

**Faktor Pengotoran**

Suatu alat penukar panas apabila telah beroperasi dalam waktu tertentu maka akan terbentuk lapisan kotoran pada permukaan perpindahan panas secara berangsur-angsur. Lapisan endapan itu disebut sebagai pengotoran (fouling), efeknya adalah akan mempertinggi tahanan termal. Tahanan termal endapan, Frank Kreith, hal 571-572, dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$Rd = \frac{1}{Ua} - \frac{1}{U}$$

dimana

$U$  = konduktansi satuan penukar kalor bersih

$Ua$  = koduktansi setelah terjadi pengotoran

$Rd$  = tahanan termal satuan endapan

Dengan memasukkan 2862actor pengotoran kedalam koefisien perpindahan panas rancangan keseluruhan  $U_d$  dari pipa tanpa sirip diperoleh

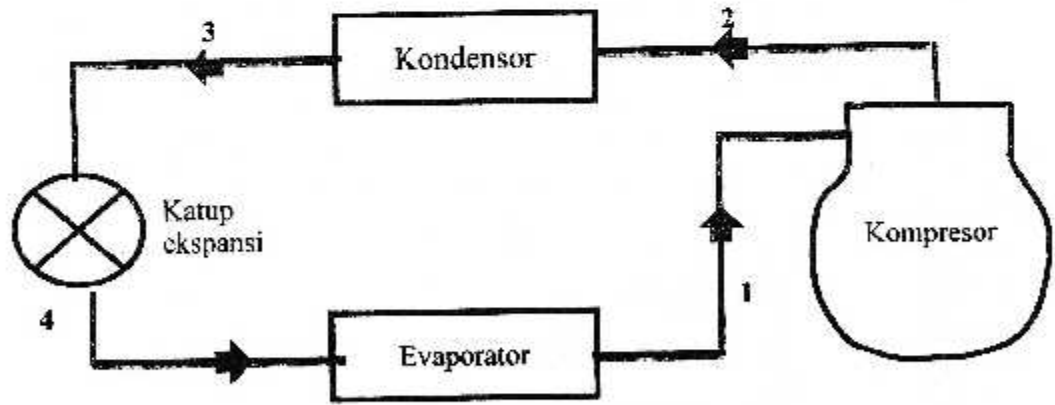
$$U_d = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + R_o + R_k + \frac{R_i A_o}{A_i} + \frac{A_o}{h_i A_i}} \dots \dots \dots (26)$$

dimana :  $U_d$  = koefisien perpindahan panas keseluruhan berdasarkan luas satuan permukaan luar pipa,  $W/m^2 K$   
 $h_o$  = koefisien perpindahan panas rata-rata fluida sebelah luar pipa,  $W/m^2 K$   
 $h_i$  = koefisien perpindahan panas rata-rata fluida sebelah

dalam  
 pipa,  $W/m^2 K$   
 $R_o$  = tahanan pengotoran satuan pada sebelah luar pipa,  $m^2 K/W$   
 $R_i$  = tahanan pengotoran satuan pada sebelah dalam pipa,  $m^2 K/W$   
 $R_k$  = tahanan satuan pipa-pipa permukaan luar pipa,  $m^2 K/W$

**2. 4 Teknik Sistim Pendingin**

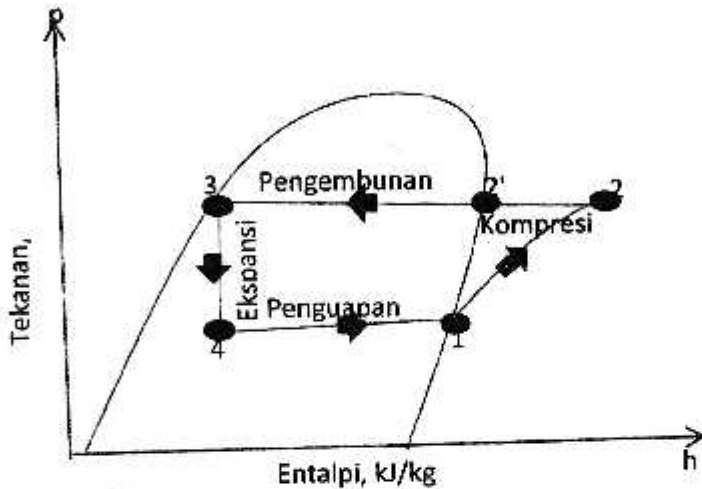
Air minum didinginkan sampai temperatur  $5^{\circ}C$  menggunakan mesin pendingin (refrigerator) dengan siklus kompresi uap. Evaporator dari mesin pendingin itu dililitkan pada bagian samping bawah dari tabung tempat air, sedang kondensator ditempatkan pada bagian belakang dispenser dan tepat diatas dari kompresornya.



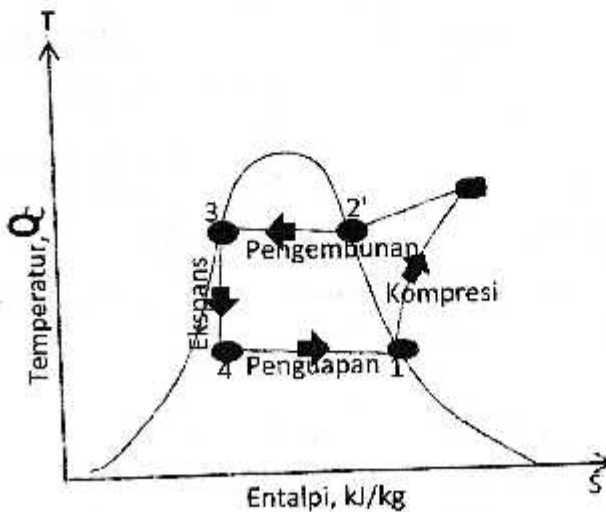
**Gambar 2.7.** Diagram alir sistem kompresi uap

Keterangan:  
 1-2 = kompresi adiabatik dan reversibel (isentropis),  $s_1 = s_2$

- 2-3 = Proses pelepasan panas (pengembunan) pada tekanan konstan pada kondensor,  $p_2 = p_3$
- 3-4 = Proses ekspansi (penurunan tekanan) pada entalpi konstan pada pipa kapiler/ katup ekspansi,  $h_3 = h_4$
- 4-1 = Proses penguapan pada tekanan konstan pada evaporator,  $p_4 = p_1$



Gambar 2. 8. Diagram p vs h



Gambar 2.9. Diagram T vs s

-Kalor yang diserap oleh evaporator (efek refrigerasi) :  $q_e = h_1 - h_4 \dots (27)$

-Kerja yang dilakukan oleh kompresor :  $w = h_2 - h_1 \dots (28)$

-Kalor pengembunan :  $q_c = h_2 - h_3 = w_k + q_e \dots (29)$

-Jumlah refrigerant yang bersirkulasi :  $G = Q/q_e \dots (30)$

-Koefisien prestasi :  $K_p = q_e / w = h_2 - h_3 / h_2 - h_1$

Dimana :

$q_e$  = efek refrigerasi, kJ/kg

$w_k$  = kerja yang dilakukan kompresor, kJ/kg

$q_c$  = kalor yang dilepas kondensor ke udara luar, kJ/kg

$G$  = jumlah refrigerant yang bersirkulasi, kg/ jam

$Q$  = kapasitas refrigerasi, J/ jam

$K_p$  = koefisien prestasi

$h_1$  = entalpi refrigerant keluar dari evaporator/ masuk ke kompresor, J/ kg

$h_2$  = entalpi refrigerant keluar dari kompresor/ masuk ke kondensor, J/ kg

$h_3$  = entalpi refrigerant keluar dari kompresor/ masuk ke pipa kapiler, J/kg

$h_4$  = entalpi refrigerant keluar dari pipa kapiler/ masuk ke evaporator, J/kg

### 3. Metode Penelitian

#### 3.1 Umum

Penelitian ini memakai metode eksperimental. Dimana peralatan yang akan dipakai sebagai mesin pendingin (refrigerator) akan menyerap panas dari air minum yang berada didalam tabung sampai pada temperatur mendekati titik bekunya, dan panas yang discrap tersebut akan dibuang ke udara luar. Sedangkan peralatan yang akan dipakai sebagai alat pemanas air minum akan ditempatkan dibagian bawah dari tabungnya sehingga temperatur air minum akan bertambah sampai temperatur mendekati titik didihnya. Pada kedua sistem tersebut apabila kondisi air telah mencapai temperatur yang direncanakan maka mesin/ alat akan berhenti secara otomatis-yang dikendalikan oleh alat kontrol otomatis.

#### 3.2 Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini diwujudkan di Laboratorium Prestasi Mesin Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen Medan.

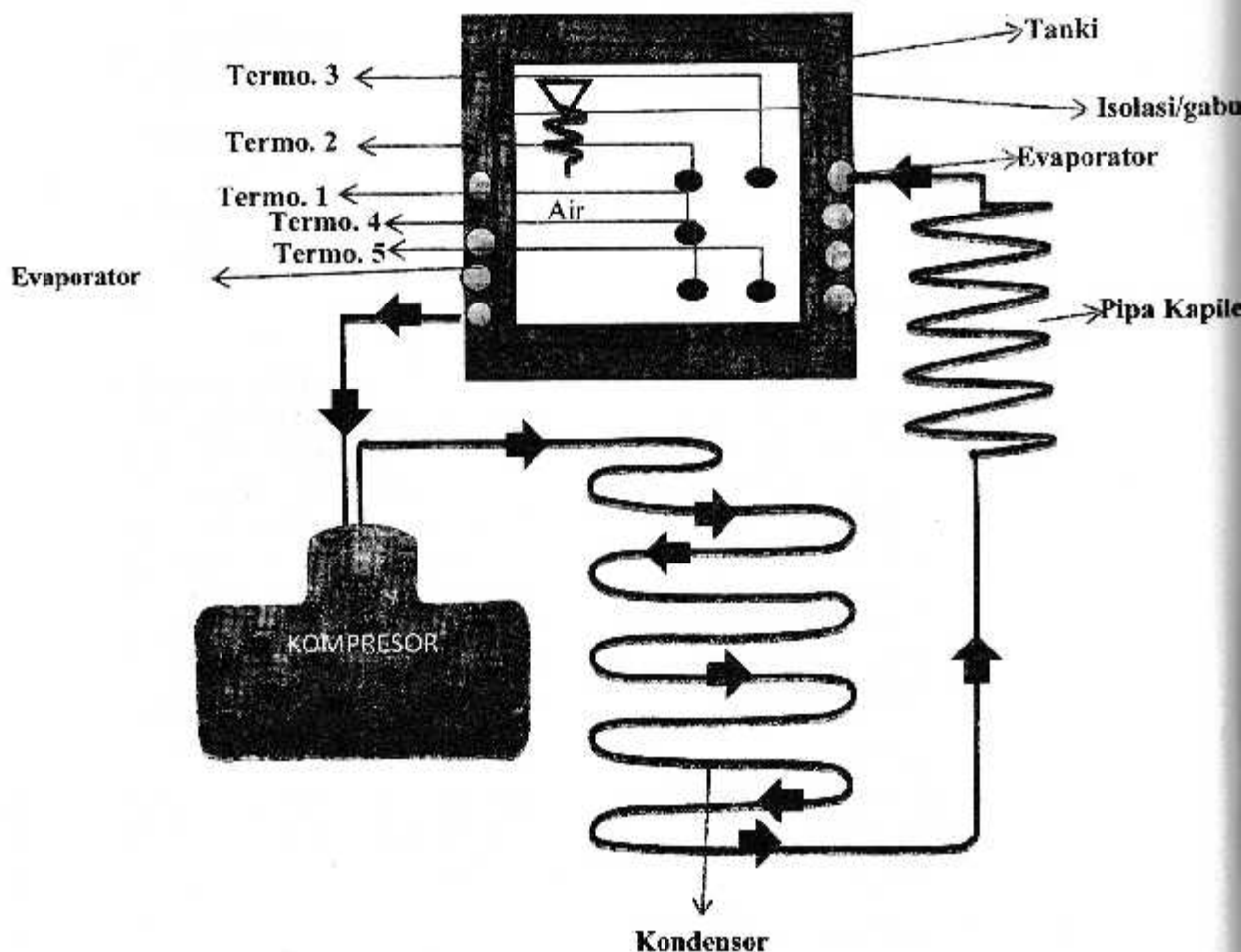
#### 3.3. Model Penelitian

Hidupkan kompresor, selanjutnya refrigeran yang berasal dari evaporator akan dihisap oleh kompresor dan dikeluarkan dengan cara mengompresikan kedalam kondensor, dimana kondensor diletakkan pada

bagian luar agar ia dapat membuang energi panas ke udara luar. Selanjutnya refrigeran dialirkan ke katub ekspansi dan pada katub ekspansi refrigeran disalurkan kedalam evaporator dan evaporator yang bertemperatur rendah akan mengisap panas dari dinding pipa dan tabung air minum melalui pipa dan tangki air minum. Tangki air minum diisolasi agar panas dari bagian luar sangat sedikit yang masuk ke dalam tangkinya, dengan demikian temperaturnya dapat dikatakan hasil dari proses pendinginan.

Mesin pendingin akan otomatis mati bila air minum telah mencapai temperatur yang direncanakan, dikendalikan oleh alat kontrol otomatis.

Komponen utama mesin pendinginnya adalah kompresor, kondensor, katup ekspansi/ pipa kapiler dan evaporator.



Gambar 3.1 Sketsa perangkat penelitian dari pendingin air minum.



## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Data dan Pengujian

Data yang diperoleh dari pengujian ini adalah temperatur air, udara luar, dinding tabung sebelah dalam dan sebelah luar, tekanan dan refrigeran pada evaporator dan kondensor.

#### 1. Data dari Tabung air

Bahan tabung adalah paduan aluminium, Diameter dalam = 161 mm, Diam luar = 163 mm

Tinggi tabung = 157 mm, Tebal tabung = 1 mm

Konduktivitas termal tabung paduan aluminium = 177 W/m °C

#### 2. Data dari Isolasi

Bahan isolasi = gabus, Tebal isolasi = 20 mm,.

Konduktivitas termal isolasi gabus = 0,048 W/m °C

#### 3. Data dari Udara

Kerapatan/ densitas udara ( $\rho$ ) = 1,1774 kg/m<sup>3</sup>

Kapasitas panas jenis pada tekanan konstan udara ( $c_p$ ) = 1,006 kJ/kg °C

Konduktivitas termal udara ( $k$ ) = 0,02227 W/m °C

#### 4. Data dari air

Volume air ( $V$ ) = 3 Liter = 3 dm<sup>3</sup> = 3 . 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>, Kerapatan/ densitas air ( $\rho$ ) = 1000 kg/m<sup>3</sup>

Massa air ( $m$ ) =  $V \cdot \rho = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 3$  kg, Kapasitas panas jenis pada tekanan konstan air ( $c_p$ ) = 4,2 kJ/kg °C, Konduktivitas termal air ( $k$ ) = 0,623 W/m °C

#### 5. Distribusi temperatur air

T1 = Termometer **warna hitam**, dengan jarak dari dasar 47 mm dan 10mm dari sumbu vertikal tabung

T2 = Termometer **warna putih**, dengan jarak dari dasar 110 mm dan 20mm dari dinding vertikal tabung

T3 = Termometer **warna merah**, dengan jarak dari dasar 110 mm dan 10mm dari sumbu vertikal tabung

T4 = Termometer **warna hijau sebelah kanan**, dengan jarak dari dasar 5mm dan 20 mm dari dinding vertikal tabung

T5 = Termometer **warna hijau sebelah kiri**, dengan jarak 5 mm dari dasar dan 10 mm dari sumbu vertikal tabung

#### 6. Data dari Mesin Pendingin

Refrigerant (fluida pendingin) = R 134A

##### Evaporator

Bahan pipa evaporator = paduan tembaga, Konduktivitas termal paduan tembaga ( $k$ ) = 111 W/m °C, Diameter luar pipa evaporator ( $d$ ) = 5 mm, Jumlah pipa evaporator ( $n$ ) = 4 buah

Diameter dalam lilitan evaporator = D luar tabung air = 163 mm, Panjang pipa evaporator =  $\pi D n = 3,14 \cdot 163 \cdot 4 = 2.049 \text{ mm} = 2,049 \text{ m}$ , Luas bidang evaporator yang merapat ke dinding tabung air (A) =  $d \cdot L = 0,005 \cdot 2,049 = 0,010245 \text{ m}^2$

**Kondensor**

Bahan pipa Kondensor = paduan tembaga,.

Konduktivitas termal paduan tembaga (k) = 111 W/m °C

Diameter luar pipa Kondensor (d) = 3/16 inci = 4,763 mm = 0,004763m

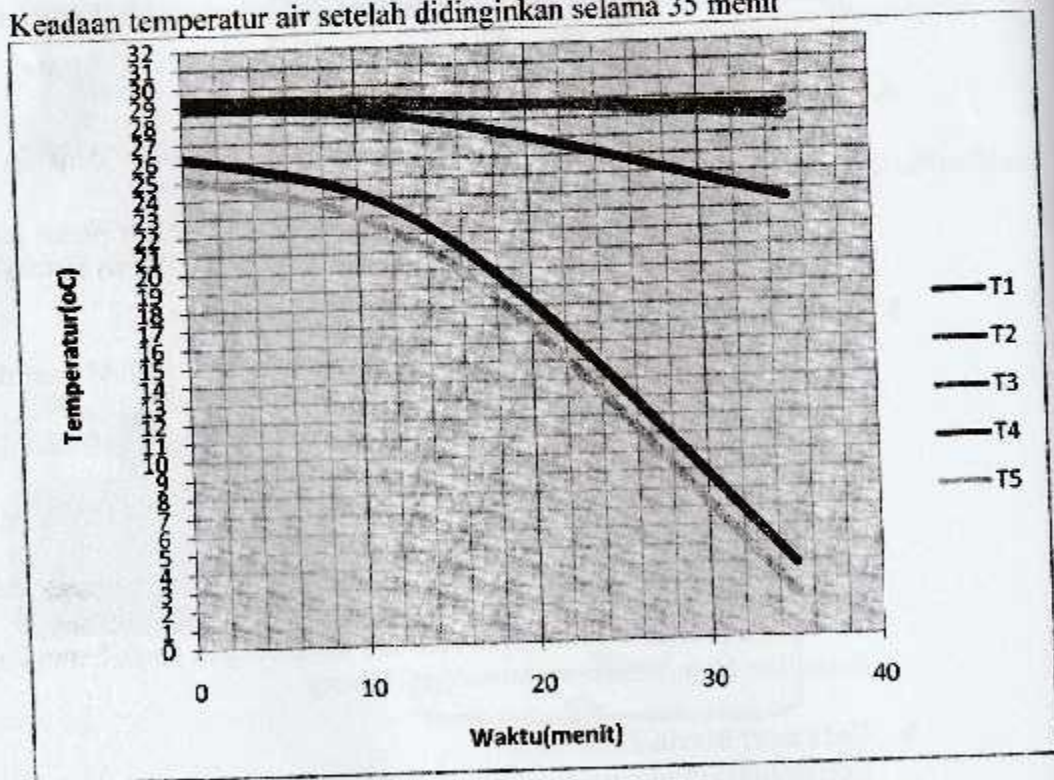
Panjang pipa kondensor = L . n = 300 . 16 = 4.800 mm = 4,8 m

Luas bidang kondensor (A) =  $\pi \cdot d \cdot L = \pi \cdot 0,004763 \cdot 4,8 = 0,0718 \text{ m}^2$

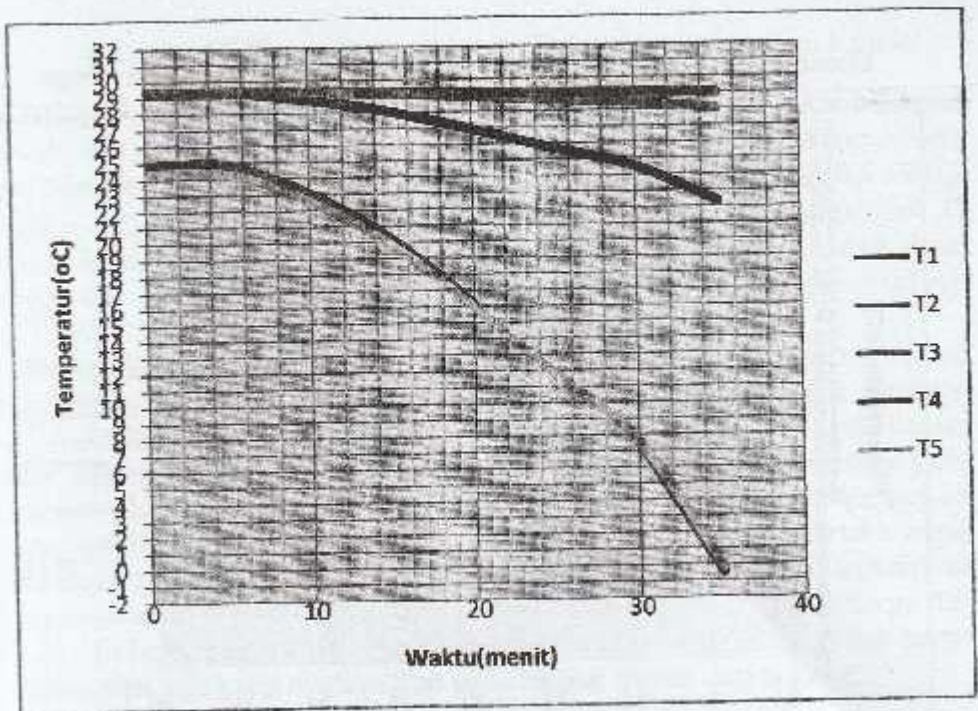
Konsumsi arus listrik oleh kompresor = 90 watt

Air yang didinginkan bervolume dan bertekanan konstan. Udara disekitar pengujian juga bertekanan dan bertemperatur konstan.

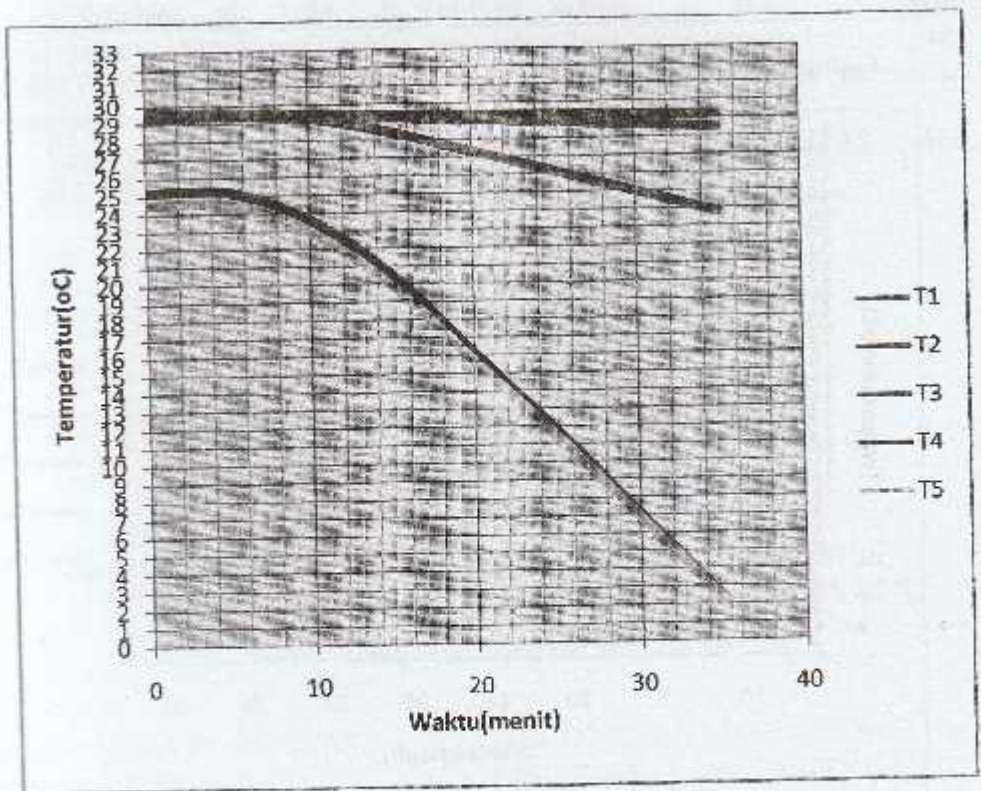
1. Keadaan temperatur air setelah didinginkan selama 35 menit



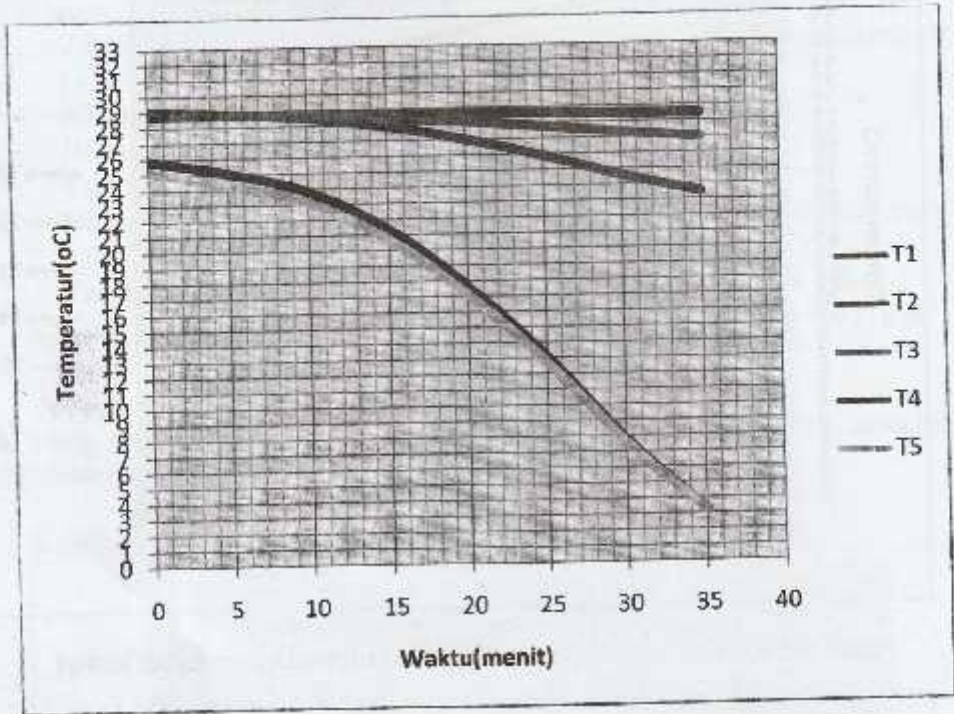
Gambar 4.1. Kurva Temperatur VS Waktu, pada pengujian pertama



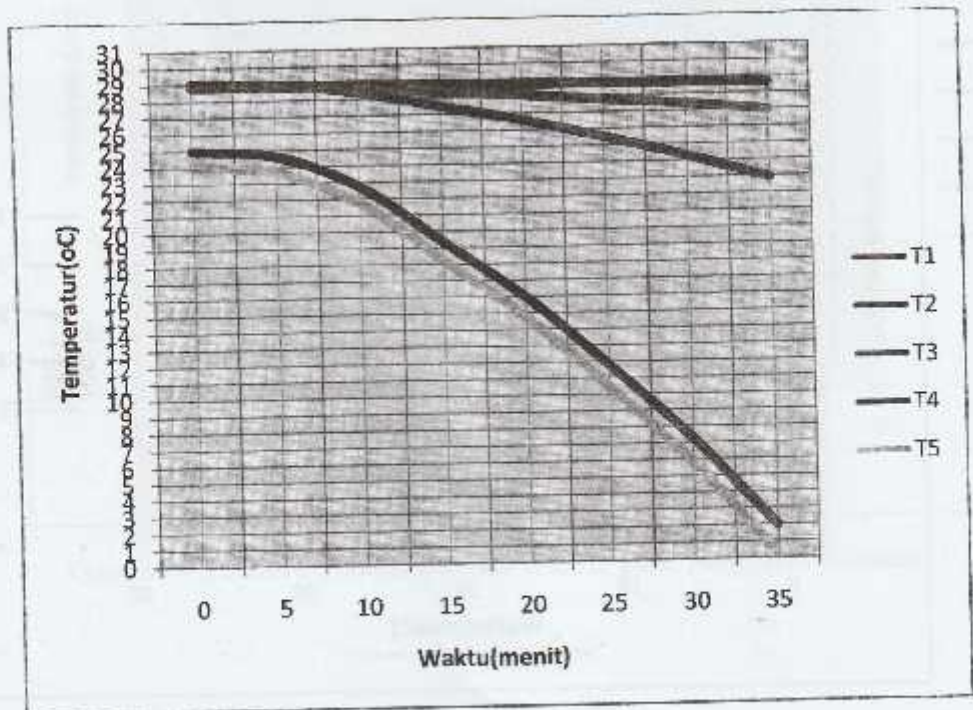
Gambar 4.2 Kurva Temperatur VS Waktu, pada pengujian kedua



Gambar 4.3 Kurva Temperatur VS Waktu, pada pengujian ketiga



Gambar 4.4 Kurva Temperatur vs Waktu, pada pengujian keempat



Gambar 4.5 Kurva Temperatur vs Waktu, pada pengujian kelima

Pada Gambar 4.1 s/d 4.5 terlihat bahwa  $T_4$  adalah temperatur pada bagian bawah, dengan jarak 5 mm dari dasar dan 10 mm dari sumbu tabung dengan kata lain memiliki besaran temperatur yang paling rendah sekitar  $-0,5$  s/d  $3,2$  °C  $[(0,4 + 3,2 + 2,2 - 0,5 + 2,3)/5 = 1,52\text{C}]$  dengan lama pendinginan 35 menit. Sedangkan  $T_5$  adalah temperature air pada jarak 5 mm dari dasar tabung dan 20 mm dari dinding tabung yang memiliki temperatur  $-0,1$  s/d  $3,2$  °C  $[(2 + 3,2 + 2,3 - 0,1 + 3,1)/5] = 2,1\text{C}$ .

Jadi terlihat bahwa kedua temperature tersebut hampir sama bila air didinginkan selama 35 menit. Dan seperti telah dijelaskan pada halaman terdahulu bahwa evaporator dari mesin pendingin ini diletakkan pada bagian dasar tabung, maka terlihat bagian bawah air memiliki temperature yang paling rendah. Jadi hal ini sesuai dengan tujuan dari pembuat dispenser ini yaitu apabila kita ingin mengeluarkan air yang paling dingin maka dapat dilakukan menekan tombol air dingin maka air pada bagian bawah, air dengan temperatur minimum, dari tabung akan keluar. Sedangkan harga dari  $T_1, T_2, T_3$  berada di atas dari  $T_4$  dan  $T_5$ , hal ini karena pipa evaporator hanya 4 lilitan pipa saja yang ditempatkan pada bagian bawah dari tabung.

## 2. Temperatur air rata-rata setelah didinginkan selama 35 menit

Keadaan air yang didinginkan selama 35 menit kemudian temperaturnya diukur pada posisi yang telah ditentukan seperti terlihat pada kelima gambar diatas, setelah itu air diaduk secara merata kemudian temperaturnya diukur.

**Tabel 4.1** Temperatur air di awal dan akhir-setelah 35 menit didinginkan kemudian diaduk.

NO	Tawal (oC)	Takhir rata-rata(oC)
1	29,00	19,30
2	29,30	21,00
3	29,60	21,50
4	29,00	21,30
5	29,00	20,80
<b>Trata-rata</b>	<b>29,18</b>	<b>20,78</b>

Dari Tabel 4.1 terlihat bahwa temperatur akhir rata-rata dari air setelah diaduk turun sekitar  $29,18 - 20,78 = 8,40$  °C dengan pendinginan selama 35 menit.

**3. Jumlah energi panas yang dikeluarkan dari air selama 35 menit**

$$Q = m \cdot cp \cdot (T1 - T2)$$

Dimana :

Q = jumlah panas yang dikeluarkan dari air, kJ

m = massa air yang didinginkan, kg

cp = kapasitas panas jenis air pada tekanan konstan, kJ/kg °C

T1 = temperature air mula-mula, °C

T2 = temperature air rata-rata setelah didinginkan selama 35 menit, °C

**Tabel 4.2** Jumlah panas yang dikeluarkan dari air selama 35 menit

NO	m(kg)	cp(kJ/kg °C)	T1( °C)	T2( °C)	Q(kJ)
1	3	4,2	29,00	19,30	122,22
2	3	4,2	29,30	21,00	104,58
3	3	4,2	29,60	21,50	102,06
4	3	4,2	29,00	21,30	97,02
5	3	4,2	29,00	20,80	103,32

Jumlah panas rata-rata = (122,22 + 104,58 + 102,06 + 97,02 + 103,32)/ 5 = 105,84kJ

Terlihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 bahwa untuk menurunkan temperature air rata-rata dari 29,18°C hingga 20,78 °C perlu mengeluarkan panas dari air 105,84 kJ dalam waktu 35 menit.

**4. Pertambahan panas dari luar tabung kedalam air (q)**

$q = q_1 + 2 q_2$  , angka 2 menyatakan ada 2 permukaan yang sama, yaitupermukaan bawah dan atas

Dimana :

$q_1$  = pertambahan panas dari bagian samping tabung ke dalam air, J/dtk = W

$q_2$  = pertambahan panas dari bagian atas/bawah tabung ke dalam air, J/dtk =W

Pertambahan panas dari bagian samping (sisi vertikal) tabung ke dalam air : $q_1$

$$q_1 = \frac{T_u - T_a}{\frac{1}{(h_{iv}A_i)} + \ln \frac{r_o/r_i}{2\pi k L} + \ln \frac{r_1/r_2}{2\pi k 2l} + \frac{1}{h_{ov}A_o}} = U_{01} \cdot A_{01} \cdot (T_u - T_a)$$

Dimana :

$T_u$  = temperatur udara luar rata-rata = (29,3 + 30,1 + 30,6 + 29,7 + 30,1)/5 = 29,96 °C

$T_a$  = temperatur air rata-rata = (29,18 + 20,78)/2 = 24,98°C

$h_{iv}$  = Koefisien perpindahan panas permukaan vertikal bagian dalam tabung

$Nu = h_{iv} D/k_f$  -----> Ref.3, Gbr. 7-4, hal. 293

$h_{iv} = Nu \cdot k_f / D = 40 \cdot 0,623 / 0,161 = 154,78 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

$A_i$  = luas permukaan tegak bagian dalam tabung,  $m^2$

$$= \pi \cdot D_i \cdot l = 3,14 \cdot 0,161 \cdot 0,157 = 0,0794 \text{ m}^2$$

$$r_o = \text{jari-jari bagian luar isolasi} = (D_o + 2 \cdot 20)/2 = (163 + 2 \cdot 20) = 101,5 \text{ mm} = 0,1015 \text{ m}$$

$$r_i = \text{jari-jari bagian dalam isolasi} = \text{jari-jari bagian luar tabung} = D_o/2 = 163/2 = 81,5 \text{ mm} = 0,0815 \text{ m}$$

$$r_L = \text{jari-jari bagian dalam tabung} = D_i/2 = 161/2 = 80,5 \text{ mm} = 0,0805 \text{ m}$$

$$k_1 = \text{Konduktivitas termal isolasi gabus} = 0,048 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$k_2 = \text{Konduktivitas termal isolasi tabung} = 0,177 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$h_{ov}$  = Koefisien perpindahan panas permukaan vertikal bagian luar tabung isolasi

$$h_{ov} = 1,42 [(T_u - T_a)/D]^{0,25} = 1,42 [(29,96 - 24,98)/0,163]^{0,25} = 1,42 [30,552]^{0,25} = 1,42 \cdot 3,35 = 4,757 \text{ W/m}^2^\circ\text{C}$$

$$A_o = \pi \cdot D_o \cdot t = 3,14 \cdot (0,163 + 2 \cdot 0,020) \cdot 0,157 = 0,100 \text{ m}^2$$

$$U_{01} = \frac{1}{\frac{A_o}{(h_i A_i)} + \ln \frac{r_o/r_i}{2\pi k_1 L} + \ln \frac{r_1/r_L}{2\pi k_2 L} + \frac{1}{h_o}}$$

$$= \frac{1}{\frac{0,179}{(154,70 \cdot 0,0794)} + \frac{\ln(0,1015/0,0815)}{2,3,14 \cdot 0,048 \cdot 0,157} + \frac{\ln \frac{0,0815}{0,0805}}{2,3,14 \cdot 0,177 \cdot 0,157} + \frac{1}{4,757}}$$

$$= \frac{1}{4,86} = 0,206 \text{ W/m}^2^\circ\text{C}$$

$$q_1 = U_{01} \cdot A_{o1} \cdot (T_u - T_a) = 0,206 \cdot 0,100 \cdot (29,96 - 24,98) = 0,103 \text{ W}$$

Pertambahan panas dari bagian bawah/ atas tabung ke dalam air :  $q_2$

$$q_2 = \frac{T_u - T_a}{\frac{1}{(h_i A)} + \frac{\Delta x_1}{k_1 A} + \frac{\Delta x_2}{k_2 A} + \frac{1}{h_o A}}$$

Koefisien perpindahan panas permukaan horizontal bagian dalam tabung :  $h_i$   
 $h_i = 163 \text{ W/m}^2^\circ\text{C}$

**Koefisien perpindahan panas permukaan horizontal bagian luar tabung :  $h_o$**

$$h_o = 1,32 [(T_u - T_a)/D]^{0,25} = 1,32 [(29,96 - 24,98)/0,163]^{0,25} = 1,32 [30,552]^{0,25} = 1,32 \cdot 2,35 = 3,102 \text{ W/m}^2^\circ\text{C}$$

$$k_1 = 0,048 \text{ W/m}^\circ\text{C}, k_2 = 177 \text{ W/m}^\circ\text{C}, \Delta x_1 = \text{tebal isolasi} = 0,020 \text{ m}$$

$$\Delta x_2 = \text{tebal tabung} = 0,001 \text{ m}, A_{o2} = \text{luas permukaan bagian bawah/atas tabung} = \pi/4 \cdot D_i^2 = 0,785 \cdot 0,161^2 = 0,0203 \text{ m}^2$$

$$U_{02} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \frac{1}{h_o}}$$

$$U_{02} = \frac{1}{\frac{1}{163} + \frac{0,020}{0,048} + \frac{0,001}{177} + \frac{1}{3,102}}$$

$$= \frac{1}{0,745} = 1,342 \text{ W/m}^2^\circ\text{C}$$

$$q_2 = U_{02} \cdot A_{o2} \cdot (T_u - T_a) = 1,342 \cdot 0,0203 \cdot (29,96 - 24,98) = 0,136 \text{ W}$$

Tabel 4.4 Pertambahan panas yang masuk dari luar tabung kedalam air (q)

NO	$U_1$ ( $W/m^2$ $^{\circ}C$ )	$A_1$ ( $m^2$ )	$\Delta T_1$ ( $^{\circ}C$ )	$q_1$ (Watt)	$U_2$ ( $W/m^2$ $^{\circ}C$ )	$A_2$ ( $m^2$ )	$\Delta T_2$ ( $^{\circ}C$ )	$q_2$ (Watt)	Q (Watt)
1	0,206	0,079 4	5,81	0,095	2,294	0,020 3	5,81	0,270	0,365
2	0,206	0,079 4	4,81	0,079	2,294	0,020 3	4,81	0,224	0,303
3	0,206	0,079 4	4,41	0,072	2,294	0,020 3	4,41	0,205	0,277
4	0,206	0,079 4	4,81	0,079	2,294	0,020 3	4,81	0,224	0,303
5	0,206	0,079 4	5,06	0,083	2,294	0,020 3	5,06	0,236	0,319

Pertambahan panas rata-rata yang masuk dari luar tabung ke dalam air (q)

$$q = (0,365 + 0,303 + 0,277 + 0,303 + 0,319) / 5 = 1,567 / 5 = 0,313 \text{ Watt}$$

$$= 0,313 \text{ J/dtk} = 0,313 \cdot 1000 / 3600 = 0,0869 \text{ kJ/ jam}$$

Jumlah panas rata-rata yang masuk dari luar tabung ke dalam air adalah sangat kecil, dengan perkataan lain dapat diabaikan.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

1. Temperatur air yang paling rendah terletak pada bagian bawah tabung, lihat  $T_1$  dan  $T_2$ , karena evaporator (alat pendingin) berada pada bagian bawah tabung (hanya 4 buah pipa), hal ini logis karena bila kita ingin mengambil air minum yang dingin maka kita akan menekan tombol air dingin sehingga ia akan keluar dari bahagian bawahnya.
2. Waktu yang dibutuhkan untuk melaksanakan proses pendinginan adalah 35 menit
3. Temperatur air minum yang minimum rata-rata adalah  $1,52^{\circ}C$
4. Jumlah panas rata-rata yang dikeluarkan dari air minum adalah  $181,44 \text{ kJ/jam}$
5. Nilai pertambahan panas yang masuk kedalam air adalah  $0,0869 \text{ kJ/jam}$

### 5.2 Saran

Sebaiknya dalam pengukuran temperature dari air dipakai data logger atau data akuisisi / termokopel agar pengambilan temperature dapat dilakukan dengan cepat dan akurat.



**Daftar Pustaka**

<https://www.journals.elsevier.com/...refrigeration/recent-article>

[www.achrnews.com/articles/91018-the-bas.c-refrigeration-cycle](http://www.achrnews.com/articles/91018-the-bas.c-refrigeration-cycle)

Kreith F., Bohn M.S. : Principles of Heat Transfer, 4<sup>th</sup> Edition, Harper and Row, Publishers, New York, 1986.

J.P. Holman, Perpindahan Kalor, Edisi kelima, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1984

W.F. Stoecker, J.W. Jons : Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, 2<sup>nd</sup> Edition, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1982

Michael J. Moran, Howard N. Shapero, Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1988.

M.M. El-Wakil, Powerplant Technology, 2<sup>nd</sup> Edition, McGraw-Hill, New York, 1985

J.P. Holman, Metode Pengukuran Teknik, Edisi keempat, Penerbit Erlanga, Jakarta, 1984.