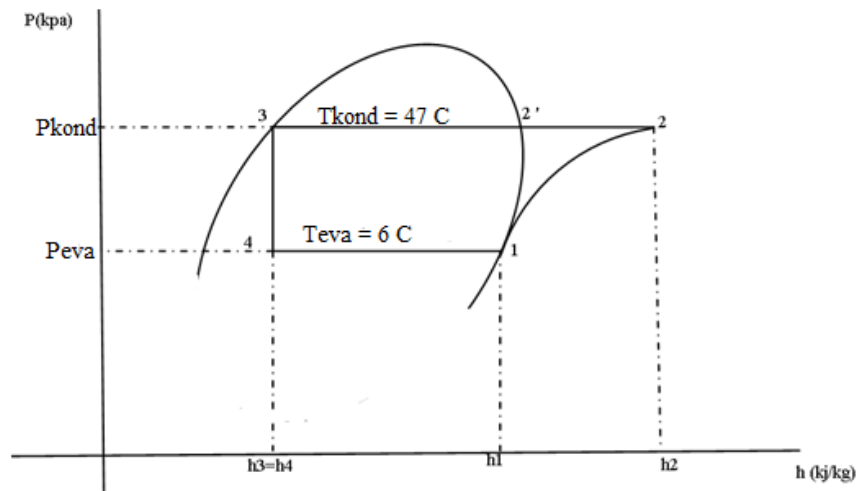


## LAMPIRAN 1. PERHITUNGAN PIPA KONDENSOR DUMMY

Perhitungan perencanaan kondensor *dummy* 3/8 inchi



Tabel L1.1. Sifat-sifat Termodinamik R22 pada Temperatur 47 °C

| Sifat Termodinamik | Titik 1<br>Uap Jenuh | Titik 2<br>Uap Panas Lanjut | Titik 2'<br>Cair Jenuh | Titik 3<br>Cair Jenuh | Titik 4<br>X= 0,252 |
|--------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|
| Tekanan (Kpa)      | 602,75               | 1815,2                      | 1815,2                 | 1815,2                | 602,75              |
| Enthalpi (kj/kg)   | 252,03               | 279,36                      | 261,63                 | 103,95                | 103,95              |
| Entropy (kj/kg.K)  | 0,1984               | 0,1984                      | 0,8644                 | -                     | -                   |

Data asumsi

$$Q_{re} = 9000 \text{ Btu/h} = 2637 \text{ Watt} = 2,637 \text{ Kw}$$

$$1 \text{ Btu} = 0,2930 \text{ Watt}$$

$$P_{kom} = 1 P_k = 746 \text{ Watt}$$

$$S_1 = S_2 = 0,9184 \text{ kj/kg}$$

$$\frac{h_2 - 261,64}{284,43 - 261,64} = \frac{0,9184 - 0,8649}{0,9337 - 0,8649}$$

$$\frac{h_2 - 261,64}{22,79} = 0,7776$$

$$h_2 - 261,64 = 0,7776 \times 22,79$$



$$h_2 = 17,7215 + 261,64$$

$$h_2 = 279,36 \text{ kJ/kg}$$

1. Dampak refrigerasi

$$h_1 - h_4 = 252,03 - 103,95$$

$$= 148,08$$

2. Laju aliran masa refrigerasi

$$M_{ref} = \frac{Q_{re}}{h_1 - h_4}$$

$$= \frac{2,637}{148,08}$$

$$M_{ref} = 17,8 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

3. Daya kompresor

$$W_k = M_{ref} (h_2 - h_1)$$

$$= 17,8 \times 10^{-3} \text{ kg/s} (289,57 - 252,03)$$

$$= 0,67 \text{ Kw}$$

Efisiensi Kompresor 80 %

$$W_{act} = \frac{W_k}{\eta_c}$$

$$= \frac{0,67}{0,8}$$

$$= 0,8375 \text{ Kw}$$

$$= 837,5 \text{ w}$$

$$= 1,12 \text{ hp} (1 \text{ HP} = 0,735 \text{ Kw sularso, 1997})$$

Kompresor yang digunakan yaitu 1 HP jenis Rotary

4. Koefisien Presentase

$$\text{COP} = \frac{Q_{re}}{W_k}$$

$$= \frac{2,637}{0,67}$$

$$= 3,94$$

5. Laju aliran panas dibuang Kondesor

$$Q_k = Q_{re} + W_k$$

$$= 2,637 + 0,67$$

$$= 3,307 \text{ Kw}$$



## Perencanaan kondensor

### 1. Laju perpindahan panas kondensor

$$\begin{aligned}Q_{kon} &= M_{ref} (h_2 - h_2') \\&= 17,8 \times 10^{-3} \text{ kg/s} (279,36 - 261,63) \\&= 0,31559 \text{ kw} \\&= 315,59 \text{ w} \\Q_p &= 1000 \text{ L/jam} = 0,000278 \text{ m}^3/\text{s} \\&\text{Asumsi air masuk kondensor } 27^\circ\text{C} \\&\rho_{wi} = 998,44 \text{ kg/m}^3 \\&C_{wi} = 4,18 \text{ kJ/kg.K}\end{aligned}$$

### 2. Laju aliran masa

$$\begin{aligned}M_{max} &= \rho_{wi} \times Q_p \\&= 998,44 \times 0,000278 \\&= 0,2776\end{aligned}$$

Laju aliran masa air di satu perdua dari laju aliran masa ier maksimum :

$$\begin{aligned}M_w &= \frac{1}{2} \times M_{max} \\&= \frac{1}{2} \times 0,2776 \\&= 0,1388\end{aligned}$$

### 3. $Q_{ref} = M_w \times C_w \times \Delta T$

$$\begin{aligned}T_{W2} &= T_{W1} + \left( \frac{Q_{kond}}{M_w \times C_w} \right) \\&= 27 + \left( \frac{0,31559}{0,1388 \times 4,18} \right) \\&= 27 + 0,54 \\&= 27,54 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

### 4. Beda temperatur rata-rata logaritmik (LMTD)

$$\begin{aligned}\Delta T_{LM} &= F \times \Delta T_{LMcf} \\&= F \times \left( \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \right) \\&= F \times \left( \frac{(T_{ref} - T_{w2}) - (T_{ref} - T_{w1})}{\ln \frac{(T_{ref} - T_{w2})}{(T_{ref} - T_{w1})}} \right) \\&= 1 \times \left( \frac{(47 - 27,54) - (47 - 27)}{\ln \frac{(47 - 27,54)}{(47 - 27)}} \right)\end{aligned}$$



$$= 19,82 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

#### 5. Proses Pengembunan Refrigeran

$$R_{ed} = \frac{4 \times M_{ref}}{\pi \times D_1 \times \mu}$$

$$= \frac{4 \times 17,8 \times 10^{-2}}{\pi \times 0,0095 \times 0,00012776}$$

$$= 18672,96$$

$R_{ed} < 35000$ , maka koefisien perpindahan panas pengembunan menggunakan persamaan Chato,  $h_c$

$$h_c = 0,555 \left[ \frac{g \times \rho_l \times (\rho_l - \rho_v) \times k_i^3 \times h'_{fg}{}^3}{\mu (T_{ref} - T_s) \times D_i} \right]^{1/4}$$

Asumsi temperatur kondensor  $T_s = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$   $T_{ref} = 47 \text{ }^{\circ}\text{C}$   $C_{pl} = 1.313$

$$\Delta T_x = T_{ref} - T_s$$

$$= 47 - 40$$

$$= 7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$h'_{fg} = h_{fg} + 3/8 \times C_{pl} \times 7 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad h_{fg} = \text{titik } 2' - \text{titik } 3$$

$$= 157,68 + 3/8 \times 1,313 \times 7 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad = 261,63 - 103,95$$

$$= 161,127 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad = 157,68$$

$$h_c = 0,555 \left[ \frac{9,81 \times 1105,8 \times (1105,8 - 117,56) \times 0,0778^3 \times 161,127 \times 10^3}{0,00012776 (47 \text{ }^{\circ}\text{C} - 40 \text{ }^{\circ}\text{C}) \times 0,008} \right]^{1/4}$$

$$= 1812,282 \text{ W/m}^3 \cdot \text{K}$$

#### 6. Proses konveksi paksa

$$T_w = \frac{T_{w1} + T_{w2}}{2}$$

$$= \frac{27 + 31,538}{2}$$

$$= 29,27 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

maka diperoleh sifat-sifat termofisik

$$\rho_w = 995,8 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_w = 8,087 \times 10^{-4} \text{ Pa.s}$$

$$C_{pw} = 4,1786 \text{ kJ/kg.K}$$

$$K_w = 0,611 \text{ W/kg.K}$$

$$Pr = \frac{\rho_w \times \mu_w}{K_w}$$



$$= \frac{995,8 \text{ kJ/kg.K} \times 8,087 \times 10^{-4}}{0,611 \text{ W/kg.K}}$$

$$= 1,32$$

Ukuran basah penampang kotak kondensor  $0,36 \times 0,36 \text{ m}^2$ , maka kecepatan air pada kotak kondensor tanpa pipa adalah:

$$V_w = \frac{V}{A_k}$$

$$= \frac{0,5 \times 0,00278}{0,36 \times 0,36}$$

$$= 1,072 \times 10^2$$

$$V_{max} = \frac{ST}{ST - D_0} \times V_w$$

$$= \frac{0,06}{0,06 - 0,0095} \times 1,072 \times 10^2$$

$$= 0,12736 \times 10^{-3}$$

$$R_{edmax} = \frac{\rho_w \times V_{max} \times D_0}{\mu_w}$$

$$= \frac{995,8 \times 0,12736 \times 10^{-3} \times 0,0095}{8,087 \times 10^{-4}}$$

$$= 14,8985$$

7. Koefisien konveksi paksa rata-rata pada sisi air dihitung dengan persamaan Zhukauskus

$$Ho = C \times C_2 \times \frac{k_w}{D_0} \times R_{edmax} \times Pr^{0,36} \times \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{\frac{1}{4}}$$

Dimana  $Pr_s$  ditentukan berdasarkan  $T_s = 40 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\mu_s = 0,65444 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$$

$$C_p = 4,1784 \text{ kJ/kg.K}$$

$$K_s = 0,628 \text{ W/kg.K}$$

$$\rho_s = 994,59 \text{ kg/m}$$

$$Pr_s = \frac{\rho_s \times \mu_s}{K_s}$$

$$= \frac{994,59 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 0,65444 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}}{0,628 \text{ W/kg.K}}$$

$$= 1,036$$

maka,

$$Ho = C \times C_2 \times \frac{k_w}{D_0} \times R_{edmax}^{0,4} \times Pr^{0,36} \times \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{\frac{1}{4}}$$



$$= 0,9 \times 1 \times \frac{0,611 \text{ W/kg.K}}{0,0095} \times 14,8985^{0,4} \times 1,32^{0,36} \times \left(\frac{1,32}{1,036}\right)^{1/4}$$

$$= 200,21 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

8. Faktor Pengotoran

$$\text{Sisi air } R''_{f,0} = 0,0003522 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\text{Sisi Refrigeran } R''_{f,1} = 0,0001716 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

(TEMA 8<sup>th</sup> Edition)

9. Koefisien perpindahan panas total pada kondensor

$$\frac{1}{U_o} = \frac{A_o^2}{A_i^2 \times h_c} + \frac{A_o^2 \times R''_{f,1}}{A_i^2} + R''_{f,0} + \frac{1}{h_o}$$

$$= \frac{0,0095^2}{0,008^2 \times 1812,283} + \frac{0,0095^2 \times 0,0001716}{0,008^2} + 0,0003522 + \frac{1}{200,324}$$

$$\frac{1}{U_o} = 6,367^{-3}$$

$$U_o = 157,058$$

10. Dimensi Kondensor

luas permukaan perpindahan panas yang diperlukan kondensor dapat dihitung:

$$A_o = \frac{Q_{kond}}{U_o \times \Delta TLM}$$

$$= \frac{315,59 \text{ w}}{157,0598 \times 19,82}$$

$$= 0,11 \text{ m}^2$$

11. Panjang pipa tembaga yang diperlukan untuk kondensor adalah :

$$L_{tot} = \frac{A_o}{\pi \times D_o}$$

$$= \frac{0,10}{3,14 \times 0,0095}$$

$$= 3,82 \text{ m}$$

$$Q_{kond} = A_o \times h_o \times (T_s - T_w) = A_i \times h_c \times (T_{ref} - T_{s2})$$

$$A_i = \frac{Q_{kond}}{h_c \times (T_{ref} - T_{s2})}$$

$$= \frac{315,59 \text{ w}}{1812,283 \times (47 - 40)}$$

$$= 0,02 \text{ m}^2$$

$$T_{s2} = T_{ref} - \left( \frac{A_o \times h_o \times (T_s - T_w)}{A_i \times h_c} \right)$$

$$= 47 - \left( \frac{0,11 \times 200,21 \times (40 - 29,27)}{0,02 \times 1812,282} \right)$$



$$= 47 - 6,5196$$

$$= 40,57 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

**Tabel 1.2.** Iterasi pipa kondensor 3/8 inchi

| Ts1   | D.TX  | Prs   | Hc      | Re      | Pr   | ho       | 1/Uo    | Uo       | Ao    | Ltotal | Ts2   |
|-------|-------|-------|---------|---------|------|----------|---------|----------|-------|--------|-------|
| 40    | 7     | 1.036 | 1812.28 | 14.8985 | 1.32 | 200.2098 | 0.00637 | 157.0585 | 0.114 | 3.82   | 40.57 |
| 40.01 | 6.99  | 1.037 | 1812.29 | 14.8985 | 1.32 | 200.2018 | 0.00637 | 157.0537 | 0.114 | 3.82   | 40.58 |
| 40.45 | 6.55  | 1.037 | 1812.37 | 14.8985 | 1.32 | 200.1938 | 0.00637 | 157.0496 | 0.114 | 3.82   | 40.92 |
| 40.58 | 6.42  | 1.037 | 1812.39 | 14.8985 | 1.32 | 200.1859 | 0.00637 | 157.0449 | 0.114 | 3.82   | 41.02 |
| 40.67 | 6.33  | 1.037 | 1812.41 | 14.8985 | 1.32 | 200.1779 | 0.00637 | 157.0402 | 0.114 | 3.82   | 41.09 |
| 40.74 | 6.26  | 1.037 | 1812.44 | 14.8985 | 1.32 | 200.1699 | 0.00637 | 157.0357 | 0.114 | 3.82   | 41.14 |
| 40.79 | 6.21  | 1.037 | 1812.47 | 14.8985 | 1.32 | 200.1619 | 0.00637 | 157.031  | 0.114 | 3.82   | 41.18 |
| 40.83 | 6.17  | 1.038 | 1812.44 | 14.8985 | 1.32 | 200.154  | 0.00637 | 157.0258 | 0.114 | 3.82   | 41.21 |
| 40.85 | 6.15  | 1.038 | 1812.44 | 14.8985 | 1.32 | 200.138  | 0.00637 | 157.016  | 0.114 | 3.82   | 41.23 |
| 40.86 | 6.145 | 1.038 | 1812.44 | 14.8985 | 1.32 | 200.13   | 0.00637 | 157.0111 | 0.114 | 3.82   | 41.23 |
| 40.86 | 6.144 | 1.038 | 1812.44 | 14.8985 | 1.32 | 200.1221 | 0.00637 | 157.0062 | 0.114 | 3.82   | 41.23 |
| 40.93 | 6.07  | 1.038 | 1812.45 | 14.8985 | 1.32 | 200.1141 | 0.00637 | 157.0014 | 0.114 | 3.82   | 41.29 |
| 40.95 | 6.05  | 1.040 | 1812.45 | 14.8985 | 1.32 | 200.0502 | 0.00637 | 156.962  | 0.114 | 3.82   | 41.31 |
| 40.96 | 6.04  | 1.041 | 1812.45 | 14.8985 | 1.32 | 199.9703 | 0.00637 | 156.9128 | 0.114 | 3.82   | 41.32 |
| 40.97 | 6.03  | 1.043 | 1812.63 | 14.8985 | 1.32 | 199.8902 | 0.00637 | 156.8654 | 0.114 | 3.83   | 41.32 |
| 40.98 | 6.02  | 1.046 | 1812.70 | 14.8985 | 1.32 | 199.7299 | 0.00638 | 156.7674 | 0.114 | 3.83   | 41.33 |
| 40.99 | 6.01  | 1.050 | 1812.74 | 14.8985 | 1.32 | 199.5691 | 0.00638 | 156.6688 | 0.114 | 3.83   | 41.34 |
| 41.02 | 5.98  | 0.930 | 1824.61 | 14.8985 | 1.32 | 205.7169 | 0.00623 | 160.5629 | 0.111 | 3.74   | 41.34 |
| 41.21 | 5.79  | 0.542 | 1831.80 | 14.8985 | 1.32 | 235.3915 | 0.00561 | 178.1818 | 0.100 | 3.37   | 41.34 |
| 41.31 | 5.69  | 0.542 | 1838.90 | 14.8985 | 1.32 | 235.3915 | 0.00561 | 178.2763 | 0.100 | 3.37   | 41.43 |
| 41.41 | 5.59  | 0.501 | 1845.93 | 14.8985 | 1.32 | 240.1492 | 0.00552 | 181.0877 | 0.099 | 3.31   | 41.49 |
| 41.51 | 5.49  | 0.394 | 1866.54 | 14.8985 | 1.32 | 254.898  | 0.00527 | 189.652  | 0.094 | 3.16   | 41.51 |

Panjang pipa kondensor *dummy* jenis pipa tembaga 3/8 in pada asumsi temperatur refrigeran 47 °C adalah 3,16 meter. Temperatur refrigeran keluar kondensor dapat mencapai 80 °C, sehingga lebih banyak panas buang yang akan dilepaskan ke lingkungan air sekitar kondensor *dummy*. Untuk itu dipilih panjang kondensor *dummy* dua kali dari hasil perhitungan, yaitu panjang 6 meter.

## LAMPIRAN 2. PRODUK PENELITIAN

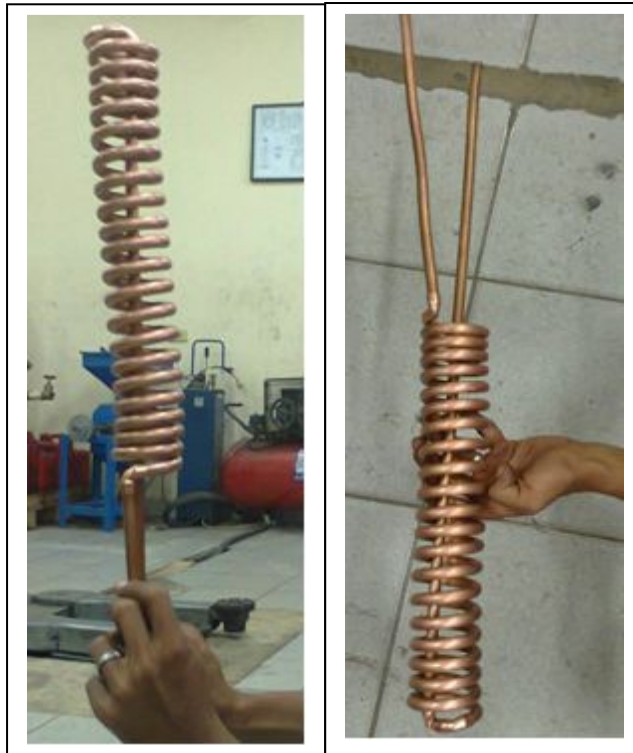


**Gambar L2.1.** Ruang Uji Mesin refrigerasi Hibrida



**Gambar L2.2.** Bagian dalam ruang uji mesin pendingin hibrida





**Gambar L2.3.** Kondensor *dummy* berdasarkan hasil rancangan



**Gambar L2.4.** Kondensor *dummy* berdasarkan hasil rancangan yang akan dipasang dalam tangki air panas

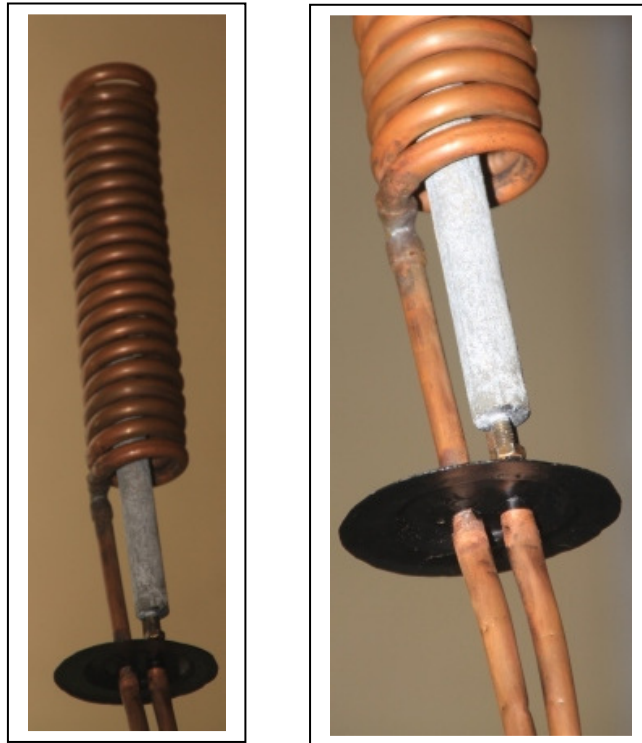




**Gambar L2.5.** Kondensor *dummy* dan tangki air panas tampak atas



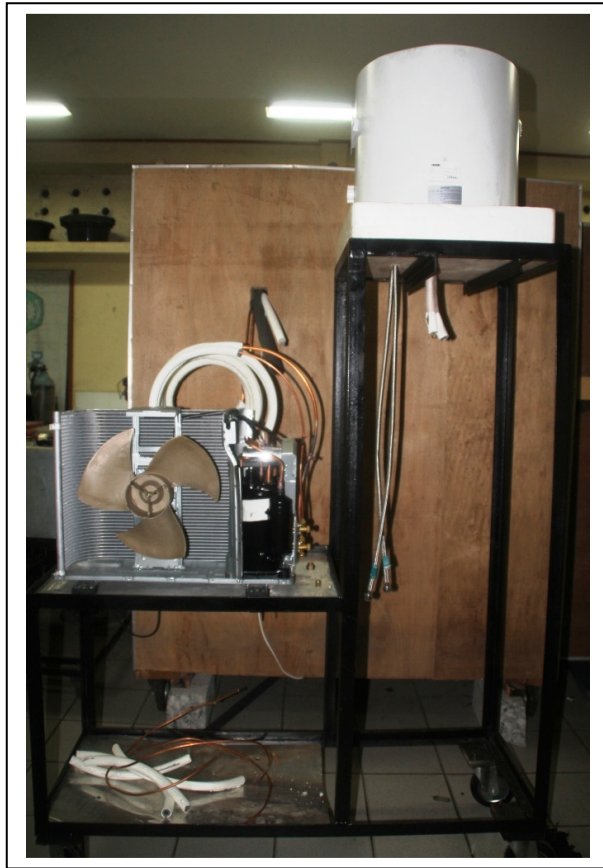
**Gambar L2.6.** Kondensor *dummy* dan tangki air panas tampak samping



**Gambar L2.7.** Kondensor *dummy* dengan tutup tangki dan magnesium anoda untuk mencegah perkaratan di dalam air



**Gambar L2.8.** Kondensor *dummy* dengan tutup yang sudah terpasang dalam tangki air panas



**Gambar L2.9.** Proses instalasi Sistem Refrigerasi tampak depan sisi *outdoor*



**Gambar L2.10.** Proses instalasi Sistem Refrigerasi tampak samping sisi *outdoor*



**Gambar L2.11.** Inlet dan outlet Kondensor *dummy* setelah dipasang pada instalasi sistem



**Gambar L2.12.** Proses instalasi pengukur tekanan sistem

## Personalia Tenaga Peneliti beserta Kualifikasinya

1. Ketua Peneliti
  - a. Nama Lengkap dan Gelar : Dr. Eng. Azridjal Aziz, ST, MT.
  - b. Pangkat/Golongan/NIP : Pembina/IVa/19710519 200003 1 002
  - c. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
  - d. Jabatan Struktural : -
  - e. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Mesin
  - f. Perguruan Tinggi : Universitas Riau
  - g. Bidang Keahlian : Konversi Energi
  - h. Waktu untuk Penelitian ini : 15 jam/minggu
2. Anggota Peneliti
  - Anggota Peneliti I
    - a. Nama Lengkap dan Gelar : Ir. Herisiswanto, MT
    - b. Pangkat/Golongan/NIP : Penata /IIIc/19660205 199702 1 001
    - c. Jabatan Fungsional : Lektor
    - d. Jabatan Struktural : Kepala Laboratorium Teknologi Mekanik
    - e. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Mesin
    - f. Perguruan Tinggi : Universitas Riau
    - g. Bidang Keahlian : Produksi, Konversi Energi
    - h. Waktu untuk Penelitian ini : 10 jam/minggu

Tabel L1. Personil Pelaksana kegiatan dan tugas masing-masing anggota

| No | Nama /NIDN   | Instansi Asal    | Bidang Ilmu  | Alokasi Waktu (jam/minggu) | Uraian Tugas   |
|----|--|------------------|--------------|----------------------------|--|
| 1  | Dr. Eng. Azridjal Aziz, ST. MT<br>NIDN. 0019057103 | Universitas Riau | Teknik Mesin | 15 Jam/minggu              | Ketua peneliti, koordinator tim, bertanggung jawab penuh terhadap semua kegiatan penelitian, mengkoordinasikan pelaksanaan penelitian, analisis hasil, membuat laporan akhir, membuat makalah untuk seminar dan publikasi di jurnal serta mengikuti pertemuan ilmiah . |



|   |   |                     |                 |                                 |   |
|---|---|---------------------|-----------------|---------------------------------|---|
| 2 | Ir. Herisiswanto,<br>MT<br>NIDN. 0005026608 | Universitas<br>Riau | Teknik<br>Mesin | Anggota<br>10 jam per<br>minggu | Anggota<br>peneliti,<br>membantu ketua<br>tim,<br>bertanggung<br>jawab pada<br>pelaksanaan<br>penelitian,<br>pembuatan alat,<br>pengujian<br>kebocoran,<br>pengujian dan<br>pengambilan<br>data pengujian<br>alat,dan<br>summary hasil<br>penelitian,<br>membuat<br>laporan |
|---|---|---------------------|-----------------|---------------------------------|---|

