



ANALISA PENGARUH TEMPERATUR AIR, DAN DIAMETER PIPA SUBCOOLER, TERHADAP UNJUK KERJA MESIN PENDINGIN, DENGAN PENAMBAHAN SUBCOOLING.

Yudayasa Rachmanda, Ir. Supardi, M.Sc.

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia

email: rachmanda69@gmail.com

ABSTRAK

Pada penggunaan mesin pendingin diperlukan performa yang optimal, untuk mendapatkan performa yang optimal dilakukan modifikasi siklus seperti subcooling. Salah satu cara untuk meningkatkan unjuk kerja mesin pendingin adalah kita dapat melakukan modifikasi, diantaranya dengan modifikasi siklus seperti subcooling. Dengan memodifikasi siklus penambahan pipa dibutuhkan untuk menjaga dari mendidihnya refrigerant, dengan memasukkan pipa subcooler pada saluran pipa tabung besi, pada tabung tersebut sudah terhubung pada bak penampung air yang juga terdapat pompa yang berguna untuk memompa air untuk melewati tabung besi yang didalamnya sudah terdapat pipa subcooler. Penelitian ini menggunakan Air Conditioner AC ½ PK, dan pengujian dilakukan dengan menggunakan variable temperatur air dengan variasi 28°C (suhu kamar), 25°C (suhu sedang), dan suhu dingin 21°C, serta diameter pipa subcooler yang digunakan adalah 9 mm dan 6 mm dengan panjang 75 cm. Pengujian dilakukan dengan pengambilan data pada alat ukur tekanan yang diletakkan pada pipa setelah evaporator (P1), pada sisi setelah kompresor (P2), pada sisi keluar kondensor (sebelum masuk alat subcooler) (P3), pada sisi keluar pipa subcooler (P3'). Dan pada sisi keluar katub ekspansi (sebelum evaporator) (P4). Disamping itu pengukuran temperature juga dilakukan pada sisi yang sama seperti alat ukur tekanan dengan lambang (T1, T2, T3, T3', T4). Dari data yang dianalisa maka diperoleh pada variable suhu 21°C dengan diameter pipa 9 mm, didapatkan peningkatan kerja mesin pendingin yaitu semakin rendah daya kompresor 0,139 kJ/s, serta meningkatnya COP sebesar 10,49, serta terjadi peningkatan juga terhadap Efek refrigerasi yaitu sebesar 158,5 kJ/kg.

Kata kunci : Sistem Pendingin Kompresi Uap, Performansi Subcooling, Efek Refrigerasi, Peningkatan COP (Koefisien Prestasi).

PENDAHULUAN

Kebanyakan mesin pendingin bekerja berdasarkan siklus pendingin kompresi uap). Pada siklus pendingin terdapat 4 komponen utama yaitu evaporator, kompresor, kondensor dan alat ekspansi. Komponen terakhir yaitu alat ekspansi bertujuan untuk menurunkan tekanan cairan

refrigerant setelah keluar dari kondensor, dan mengatur laju aliran refrigerant yang masuk ke evaporator

Pada penggunaan mesin pendingin diperlukan performa yang optimal, untuk mendapatkan performa yang optimal dilakukan modifikasi siklus seperti subcooling. Salah satu cara untuk

meningkatkan unjuk kerja mesin pendingin adalah kita dapat melakukan modifikasi, diantaranya dengan modifikasi siklus seperti *subcooling*. *Subcooling* adalah proses penurunan suhu refrigeran setelah melalui titik *saturated liquid* dan wujud refrigeran disebut *subcooled liquid*, kondisi dimana refrigeran cair lebih dingin dari suhu minimum ini diperlukan untuk menjaga dari mendidihnya refrigeran oleh karena perubahan dari cair ke fase gas.

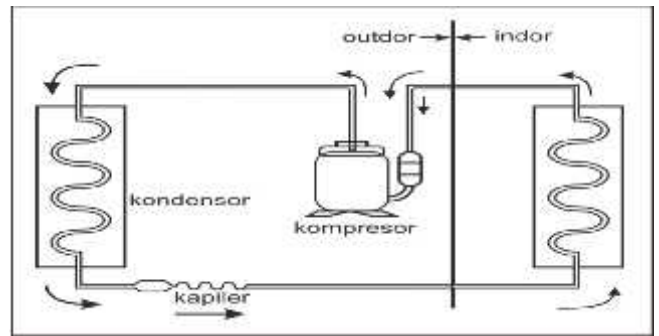
Dengan memodifikasi siklus penambahan pipa dibutuhkan untuk menjaga dari mendidihnya refrigerant, dengan memasukkan pipa subcooler pada saluran pipa tabung besi ,pada tabung tersebut sudah terhubung pada bak penampung air yang juga terdapat pompa yang berguna untuk memompa air untuk melewati tabung besi yang didalamnya sudah terdapat pipa subcooler.

DASAR TEORI

Air Conditioning (AC) atau alat pengkondisi udara merupakan modifikasi pengembangan dari teknologi mesin pendingin. Alat ini dipakai bertujuan untuk memberikan udara yang sejuk dan menyediakan uap air yang dibutuhkan bagi tubuh. Untuk negara beriklim tropis yang terdiri dari musim hujan dan musim panas, pada saat musim panas suhu ruangan tinggi sehingga penghuni tidak nyaman. Di lingkungan tempat kerja, AC juga dimanfaatkan sebagai salah satu cara dalam upaya peningkatan produktivitas kerja. Karena dalam beberapa hal manusia membutuhkan lingkungan udara yang nyaman untuk dapat bekerja secara optimal. Tingkat kenyamanan suatu ruang juga ditentukan oleh temperatur, kelembapan, sirkulasi dan tingkat kebersihan udara.

Untuk dapat menghasilkan udara dengan kondisi yang diinginkan, maka peralatan yang dipasang harus mempunyai kapasitas yang sesuai dengan beban pendinginan yang dimiliki ruangan tersebut. Untuk itu diperlukan survey dan menentukan besarnya beban pendinginan.

Prinsip Kerja Mesin Pendingin Ruangan

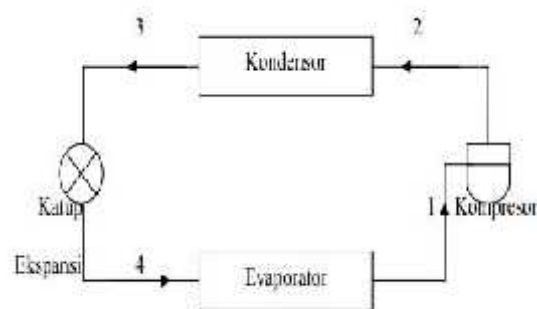


Gambar 1. Mesin Pendingin Ruangan(Sunyoto,2010)

Prinsip pendinginan udara pada AC melibatkan siklus refrigerasi, yakni udara didinginkan oleh refrigerant / pendingin (freon), lalu freon ditekan menggunakan kompresor sampai tekanan tertentu dan suhunya naik, kemudian didinginkan oleh udara lingkungan sehingga mencair. Proses tersebut diatas berjalan berulang-ulang sehingga menjadi suatu siklus yang disebut siklus pendinginan pada udara yang berfungsi mengambil kalor dari udara dan membebaskan kalor ini ke luar ruangan. Prinsip kerja mesin pendingin ruangan ditunjukkan pada Gambar 1.

Termodinamika Sistem Refrigerasi

1. Siklus Refrigerasi Kompresi Uap

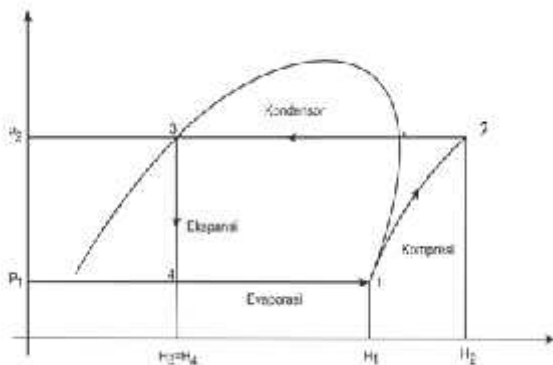


Gambar 2. Siklus kompresi uap standart (Sunyoto,2010)

Mesin pendingin dengan siklus kompresi uap merupakan mesin yang paling banyak digunakan pada refrigerasi. Pada siklus ini uap ditekan, kemudian diembunkan menjadi cairan, kemudian tekanannya

diturunkan agar cairan tersebut dapat menguap kembali. Penyerapan panas pada siklus kompresi uap dilakukan dalam evaporator dengan temperatur dan tekanan rendah. Di dalam evaporator, refrigeran berubah dari fase cair menjadi fase gas, lalu masuk ke kompresor. Karena kerja kompresor, refrigeran menjadi gas bertemperatur dan bertekanan tinggi. Untuk melepaskan panas yang diserap oleh evaporator, refrigeran diembunkan di dalam kondensor sehingga refrigeran menjadi cair. Sebelum refrigeran memasuki evaporator, refrigeran diekspansikan terlebih dahulu oleh katup ekspansi. Pada alat ini tekanan refrigeran yang masuk ke evaporator diturunkan. Penurunan tekanan ini disesuaikan dengan kondisi yang diinginkan, sehingga refrigeran tersebut dapat menyerap cukup banyak kalor dari evaporator. Komponen utama dari siklus kompresi uap adalah kompresor, evaporator, kondensor dan katup ekspansi. Instalasi mesin pendingin siklus kompresi uap ditunjukkan pada gambar 2 di atas.

Siklus kompresi uap pada diagram tekanan – entalpi (p-h diagram) mesin pendingin siklus kompresi uap ditunjukkan oleh Gambar 3 sebagai berikut :



Gambar 3. Diagram tekanan dan entalpi siklus kompresi uap standart (Sunyoto,2010)

Perhitungan Kerja Sistem Refrigerasi Daya Input Kompresor

Merupakan kerja yang dilakukan untuk menaikkan tekanan dari tekanan rendah evaporator ke tekanan tinggi kondensor, kerja yang diberikan kompresor dalam bentuk daya listrik untuk menggerakkan kompresor dirumuskan:

$$W_{in} = V \cdot A \cdot \cos \quad (\text{watt})$$

Dimana :

V = Tegangan saat alat bekerja (Volt)

A = Arus saat alat semua bekerja (Ampere)

Cos = factor koreksi listrik (0,7-0,9)

Daya Kompresor Nyata

Merupakan jumlah daya yang diterima refrigerant untuk menaikkan tekanan evaporator ke tekanan kondensor. Rumus yang dipakai adalah :

$$W_{ref} = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (\text{kJ/s})$$

Dimana :

\dot{m} = laju aliran massa (kg/s)

h_2 = enthalpy refrigerant pada keluaran kondensor (kJ/kg)

h_1 = enthalpy refrigerant pada masukan kompresor (kJ/kg)

Kerja Kompresor

Adalah kerja yang didapatkan dari perbedaan enthalpy refrigerant yang keluar dan masuk kompresor. Rumus yang dipakai adalah :

$$W = h_2 - h_1 \quad (\text{kJ/kg})$$

Dimana :

h_2 = enthalpy refrigerant pada keluaran kompresor (kJ/kg)

h_1 = enthalpy refrigerant pada masukan kompresor (kJ/kg)

Kerja Evaporator

Adalah jumlah panas yang diserap refrigerant saat melalui evaporator. Rumus yang digunakan adalah :

$$Q_E = (h_1 - h_4) \quad (\text{kJ/s})$$

Dimana :

h_1 = enthalpy refrigerant pada masukan kompresor (kJ/kg)

h_2 = enthalpy refrigerant pada keluaran evaporator (kJ/kg)

Efek Refrigerasi

Adalah jumlah kalor yang yang dikeluarkan oleh refrigerant dalam evaporator pada laju aliran refrigerant.

Rumus yang digunakan adalah :

$$Re = h_1 - h_4 \text{ (kJ/kg)}$$

Dimana :

Re = efek refrigerant (kJ/kg)

h_1 = enthalpy refrigerant pada masukan kompresor (kJ/kg)

h_4 = enthalpy refrigerant pada keluaran evaporator (kJ/kg)

Laju pelepasan kalor di kondensor

Adalah panas yang dilepaskan refrigerant saat melalui kondensor. Rumus yang digunakan adalah :

$$Q_c = (h_2 - h_3) \text{ (kJ/s)}$$

Dimana :

= laju aliran massa (kg/s)

h_2 = enthalpy refrigerant pada keluar kondensor (kJ/kg)

h_3 =enthalpy refrigerant pada masukan kondensor(kJ/kg)

Panas yang dibuang Kondensor

Adalah kalor yang dikeluarkan oleh refrigerant dalam kondensor pada laju aliran refrigerant. Rumus yang digunakan adalah :

$$Q_c = h_2 - h_3 \text{ (kJ/kg)}$$

Dimana :

Q_c = panas yang dibuang kondensor (kJ/kg)

h_2 = Enthalpy refrigerant pada keluaran kondensor (kJ/kg)

h_3 = Enthalpy refrigerant pada masukan kondensor (kJ/kg)

Kapasitas Pendingin

Adalah total panas yang diserap oleh evaporator persatuan waktu

$$Q_e = (h_1 - h_4)$$

Dimana :

Q_e = Kapasitas pendingin (kJ/s)

h_1 = Entalpi refrigerant masuk kompresor (kJ/kg)

h_4 = Entalpi Refrigerasi masuk evaporator(kJ/kg)
= Laju aliran massa (kg/s)

Koefisien Prestasi Nyata (COP)

Adalah perbandingan antara efek refrigerasi (refrigerasi yang bermanfaat) dengan kerja kompresi.

$$C = \frac{E}{K} = \frac{R}{K_1}$$

$$C = \frac{r}{w} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Subcooling

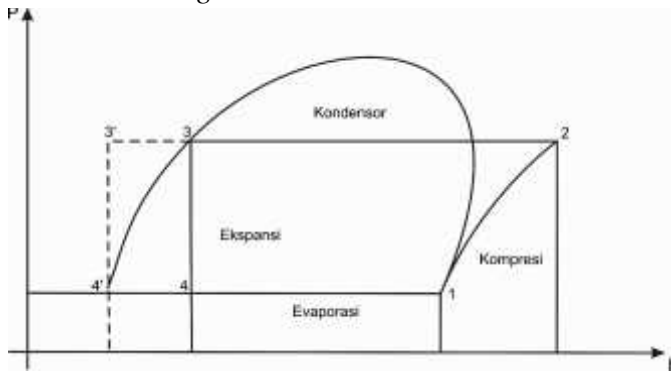
Subcooling adalah proses penurunan suhu refrigeran setelah melalui titik *saturated liquid*, kondisi dimana refrigeran cair lebih dingin dari suhu minimum. *Subcooling* diperlukan untuk menjaga dari mendidihnya refrigeran oleh karena perubahan dari cair ke fase gas dan wujud refrigeran disebut *subcooled liquid*.

Subcooling merupakan salah satu modifikasi mesin pendingin yang bertujuan untuk mendapatkan nilai COP yang lebih tinggi dari pada tanpa menggunakan *subcooling*.

Subcooling bermanfaat karena mencegah refrigeran cair berubah menjadi gas sebelum masuk ke evaporator, karena setelah keluar kondensor tidak semua refrigeran sudah cair. *Subcooling* juga meningkatkan efisiensi sistem karena terjadi penurunan temperatur setelah keluar kondensor sehingga entalpi juga ikut turun.

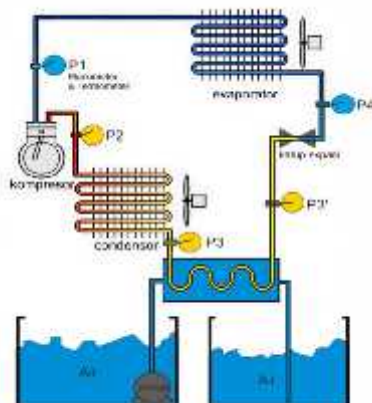
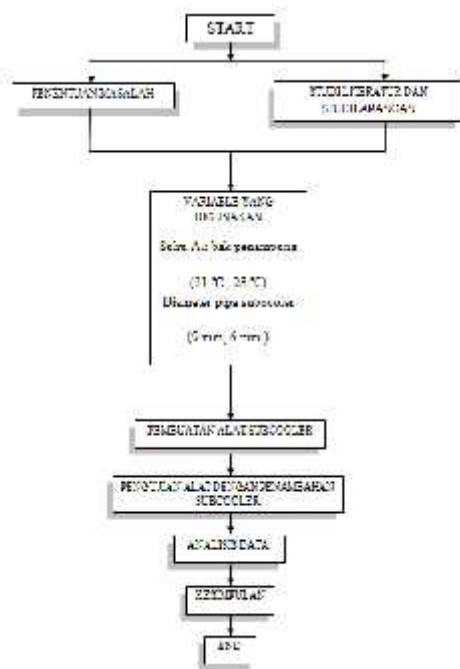
Siklus mesin pendingin dengan *subcooling* ditunjukkan pada Gambar 2.8

Gambar 4 Siklus Mesin Pendingin Dengan Subcooling



Pada siklus p-h (tekanan-entalpi) diatas terlihat bahwa dengan proses *subcooling*, maka efek refrigerasi yang dihasilkan menjadi lebih besar. Siklus dengan proses *subcooling* menjadi (1 –2 –3– 3' –4).

METODELOGI PENELITIAN



(Gambar 3 instalasi penelitian)



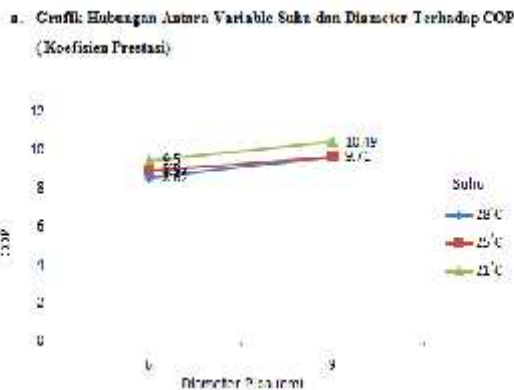
Pada siklus refrigerasi, refrigeran bersirkulasi ke empat komponen utama mesin pendingin yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Kompresor mengkompresi refrigeran menuju kondensor untuk membuang kalor refrigeran, setelah kompresor terdapat alat ukur tekanan P_2 , kemudian refrigerant menuju kondensor, setelah kondensor terdapat sambungan pipa tembaga yang langsung berhubungan dengan pipa subcooler, oleh karena itu setelah kondensor atau sebelum menuju pipa subcooler terdapat alat ukur tekanan yang diberi simbol P_3 , setelah itu refrigerant melewati pipa subcooler yang terdapat di dalam tabung, kemudian setelah melewati pipa subcooler terdapat alat ukur tekanan lagi yang diberi simbol P_3' . Pada saluran keluar katup ekspansi, terdapat alat ukur tekanan P_4 , refrigeran menuju evaporator untuk menyerap kalor dari beban pendinginan. Setelah dari evaporator menuju ke kompresor, sebelumnya terdapat alat ukur tekanan dan temperatur yang diberi simbol P_1 . Titik penentuan pengambilan data temperatur (T_1, T_2, T_3, T_3' dan T_4) sama dengan titik dari pengukur tekanan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel hasil penelitian

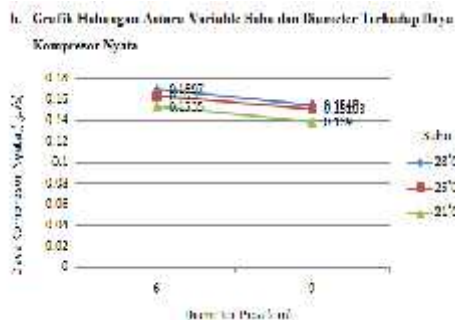
No	Suhu (°C)	Diameter (mm)	Mebuang Daya Sistem							COP	
			Daya Aliran (kW)	Daya Input Kompresor (kW)	Daya Kompresor Nyata (kW)	Efektifitas Kompresi (kJ/kg)	Efektifitas Pendinginan (kJ/kg)	Daya Pendinginan (kW)	Daya Output (kW)		
1	28°C	6	0,0083	0,0	0,134	0,62	116,9	15,4	173,05	1,44	0,71
		9	0,0083	0,0	0,139	0,81	116,2	16,9	173,7	1,44	0,8
2	25°C	6	0,0083	0,0	0,138	0,81	111,16	16,1	171,52	1,43	0,7
		9	0,0083	0,0	0,139	1,01	116,36	16,69	171,82	1,43	0,81
3	21°C	6	0,0083	0,0	0,139	1,51	116,5	16,9	173,8	1,43	1,01
		9	0,0083	0,0	0,139	1,84	116,9	16,9	174,1	1,43	1,1

Grafik hubungan antara variasi suhu dan temperature air terhadap COP



Berdasarkan grafik hubungan antara variable suhu dan diameter terhadap COP diatas didapat, peningkatan COP terjadi pada suhu 21°C dengan diameter pipa 9 mm.

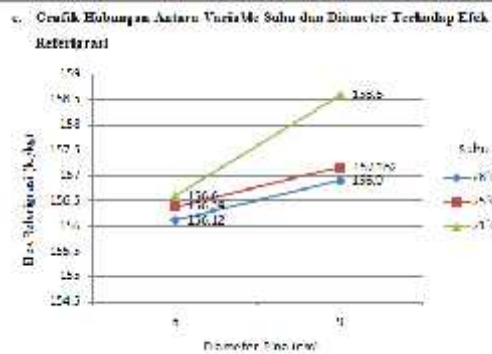
Grafik hubungan antara variasi suhu dan temperature air terhadap daya kompresor nyata.



Berdasarkan grafik hubungan antara variable suhu dan diameter terhadap Daya Kompresor nyata diatas didapat, penurunan

daya kompresor yang paling rendah terjadi pada suhu 21°C dengan diameter pipa 9 mm. Semakin rendah daya kompresor maka berpengaruh terhadap kerja mesin pendingin yang optimal

Grafik hubungan antara variasi suhu dan temperature air terhadap efek refrigerasi



Berdasarkan grafik hubungan antara variable suhu dan diameter terhadap Efek Refrigerasi diatas didapat, peningkatan Efek Refrigerasi yang paling tinggi terjadi pada suhu 21°C dengan diameter pipa 9 mm.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil dari penelitian pengaruh variasi temperature air dan diameter pipa subcooler terhadap unjuk kerja mesin pendingin dengan penambahan subcooling dapat disimpulkan. Dari kedua variable diameter pipa subcooler dan juga variasi suhu yang paling ideal dalam hal pendinginan yaitu terjadi pada diameter pipa 9 mm dengan suhu air 21°C, karena pada kondisi tersebut dari data yang sudah di analisa maka diperoleh peningkatan performansi system pendingin, yaitu semakin rendah daya kompresor 0,139 Kj/s, serta meningkatnya COP sebesar 10,49, serta terjadi peningkatan juga terhadap Efek refrigerasi yaitu sebesar 158,5 Kj/kg. Pada pipa dengan diameter 9 mm, dapat meringankan kerja kompresor, dimana pada suhu 28°C dengan diameter 9 mm ini didapat kerja kompresor sebesar 16,6 kJ/kg, untuk suhu 21°C sebesar 15,1 Kj/kg.

Dengan adanya penambahan subcooling ini dapat juga menghemat

pemakaian Freon, jika Freon R-22 yang digunakan pada AC standart (tanpa penambahan subcooling) adalah sebesar 9 ons, pada kondisi ini mesin pendingin sudah mampu untuk menjalankan kerja pendinginan yang optimal, jika kita tambahkan alat subcooling dengan Freon yang lebih sedikit yaitu sebesar 5 ons, maka kerja pendinginan AC dengan penambahan subcooling tersebut sudah mampu untuk bekerja secara optimal layaknya AC standart. Namun untuk jumlah Freon yang sama 9 ons kerja pendinginan AC yang lebih optimal adalah AC dengan penambahan alat subcooling.

Saran

Untuk mencapai unjuk kerja mesin pendingin yang lebih optimal pada penambahan subcooling dengan kapasitas AC $\frac{1}{2}$ PK, dibutuhkan panjang pipa subcooling yang tidak terlalu panjang, dan juga diameter pipanya harus 9mm agar tidak menghambat tekanan atau kerja kompresor pada saat menekan Freon, Maka dari itu dibutuhkan daya kompresi yang rendah, dapat menghasilkan COP yang meningkat dan juga kerja kompresor yang rendah adalah kunci untuk mendapatkan unjuk kerja mesin pendingin yang optimal.

- Sumatera Utara. Program Pendidikan Sarjana Ekstensi Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara Medan.
- [4] Sunyoto, 2010. **Teknik Mesin Industri**. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Kejuruan.
- [5] Panduan Praktikum Pendingin. **Pedoman Praktikum Teknik Pendingin**. Suarabaya . Jurusan Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
- [6] Wenxiang Zhang, 2017. **Performance Analysis of Hydrate-base Refrigeration System**. Guangzhou China : Key Lab of Enhanced Heat Transfer and Energy Conservation, Ministry of Education, School of Chemistry and Chemical Engineering, South China of Technology

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kurniawan Dadang, Mega. 2010. **Pengaruh penambahan subcooling terhadap unjuk kerja mesin pendingin dengan refrigerant Musicool 22 (M22)** . Malang . Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- [2] Anwar Khairil. 2010 **Efek Temperatur Pipa Kapiler terhadap Kinerja Mesin Pendingin**. Palu, Sulawesi Tengah. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Tadulako Palu, Sulawesi Tengah.
- [3] Manurung, G Rikardo. 2016 . **Analisa Performansi Mesin Pendingin 1 PK Dengan Penambahan Subcool Menggunakan Refrigerant R-22**.