

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Nitrogen generator adalah suatu sistem yang berfungsi untuk memproduksi nitrogen murni. Penulis akan memaparkan teori cara kerja fungsi sistem pengering udara pada nitrogen generator.

1. Pemurnian Nitrogen

Menurut Sumarjo (2006), udara adalah bagian dari atmosfer bumi yang merupakan lapisan yang membungkus bumi setebal ± 86 km di atas permukaan tanah. Udara berupa campuran gas bersifat homogen, tak berwarna, tak berbau dan tak berasa. Udara kering dan bersih mengandung 78,08 % nitrogen, 20,95 % oksigen, 0,93 % argon dan 0,04 % gas lainnya seperti karbondioksida, neon, helium, metana, hidrogen dan kripton. Karena kandungan nitrogen yang sangat tinggi, hal ini menyebabkan udara dijadikan sebagai bahan baku dalam memproduksi nitrogen dengan berbagai tingkat kemurnian.

Pemisahan nitrogen dari udara dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu metode tradisional (kriogenik) yang telah digunakan dalam skala besar serta metode non kriogenik yang meliputi metode adsorpsi dan metode membran yang masih digunakan dalam skala kecil. Penulis akan menjelaskan cara kerja metode *adsorpsi* (penyerapan) karena metode ini yang digunakan di kapal penulis (Maxwell, 2004).

Metode penyerapan merupakan salah satu teknologi yang digunakan untuk memisahkan gas dari campurannya di bawah tekanan

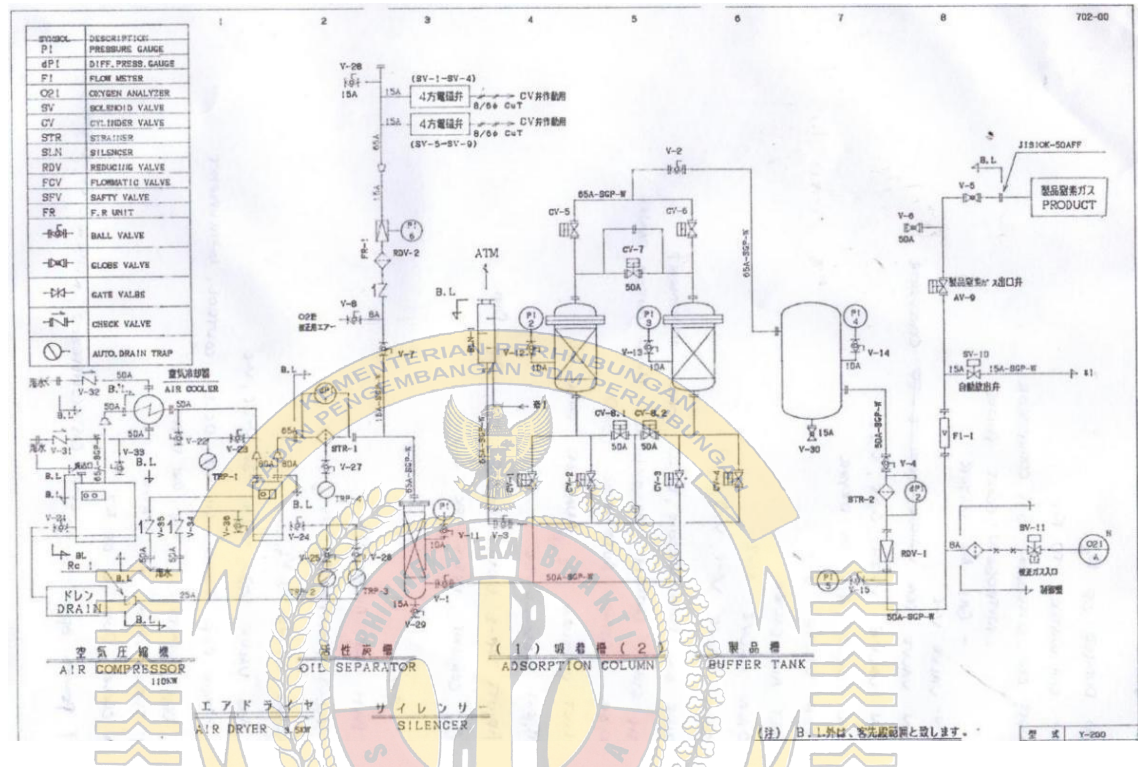
berdasarkan karakteristik dan daya tarik molekul terhadap bahan penyerap yang digunakan. Proses ini berlangsung pada temperatur ruangan, sangat berbeda dengan proses kriogenik. Bahan penyerap dibuat khusus sebagai molekul penyaring yang dimaksudkan agar menyerap gas nitrogen pada tekanan tinggi yang kemudian secara perlahan tekanannya turun dan nitrogen yang terserap dilepas ke udara. Semakin tinggi tekanan pada bahan penyerap, maka semakin banyak nitrogen yang terserap. Ketika tekanan diturunkan, gas akan mengalami penyerapan kembali (Maxwell, 2004).

Pada pemisahan udara, udara dilewatkan melalui tanki yang berisi bahan penyerap di bawah tekanan sehingga nitrogen tertarik lebih kuat dibandingkan oksigen. Nitrogen akan tertinggal dalam bahan penyerap dan gas oksigen akan keluar dari tanki. Kemudian penyerap diregenerasi dengan menurunkan tekanan untuk melepas nitrogen yang terserap. (Maxwell, 2004).

Kemurnian nitrogen yang diperoleh pada proses pemisahan dengan metode penyerapan ini kurang dari 99,999 % dengan kapasitas volume gas antara 100-5000 Nm³/jam. Pada metode *pressure swing adsorption* (PSA) hanya memerlukan kompresor lebih sedikit sehingga dianggap hanya membutuhkan energi yang lebih kecil dari pada metode kriogenik (Maxwell, 2004).

Pada kapal penulis, nitrogen generator memakai metode PSA yang di buat oleh Kurasep (Kuraray Separation). Metode ini dipilih mungkin karena daya yang dibutuhkan kecil dan volume produksi gasnya yang

cukup besar. Metode PSA merupakan metode paling populer yang digunakan didunia industri.



Gambar 2.1 Skema pemisahan nitrogen dengan metode penyerapan (PSA)

(Sumber: Buku manual nitrogen generator MT. Gas Maluku, 1996)

Menurut buku manual nitrogen generator, alur kerja nitrogen generator adalah sebagai berikut :

- a. Kompresor utama menghisap udara bebas dari luar kapal lalu dikompresikan mencapai tekanan 7 bar dan di salurkan ke sistem pengering udara
- b. Udara bertekanan dari kompresor utama masuk ke evaporator lalu didinginkan hingga menyentuh temperatur *dewpoint* 0-10°C. Proses pendinginan tersebut membuat uap air di udara mengembun, inilah yang disebut proses kondensasi.

- c. Udara yang telah kering akan masuk ke dalam *oil separator* guna membersihkan oli dari kompresor yang mungkin saja terbawa.
- d. Udara yang sudah bersih akan masuk ke tangki *absorption* no 1. Gas nitrogen yang masuk ke tangki akan diserap oleh carbon dan oksigen akan dibuang melalui *silincer*. Ketika tekanan tangki mencapai 7 bar, *solenoid valve* akan di buka dan carbon akan melepas gas nitrogen menuju tangki *buffer*. Dalam waktu yang bersamaan, tangki *absorption* no 2 akan mulai diisi oleh udara dan proses akan berulang-ulang
- e. Dari tangki *buffer*, gas nitrogen akan melewati oksigen *analyzer* jika kadar oksigen kurang dari 0.02 % maka *solenoid valve* akan terbuka dan gas nitrogen akan mengalir ke tangki muatan.

2. Pengering Udara

a. Fungsi

Menurut Maxwel (2004), sistem pengering udara (*air dryer*) dalam sistem nitrogen generator berfungsi untuk mengeringkan udara yang lembab. Apabila udara lembab masuk dapat membuat lembab *carbon absorbent*, sehingga mengganggu proses pemurnian nitrogen.

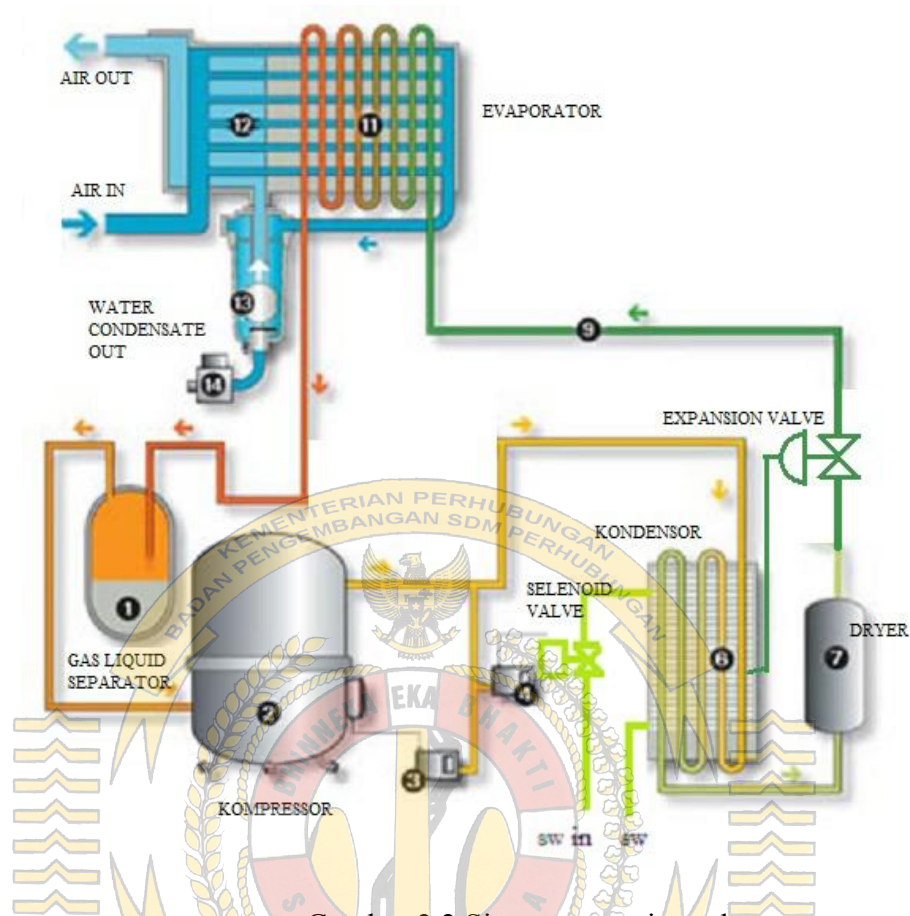
b. Prinsip Kerja Sistem Pengering Udara

Menurut Sumarjo (2008), kelembapan udara di atas permukaan laut pada suhu 35°C adalah 38.28 g/m³ pada tekanan atmosfer dan meningkat seiring dengan naiknya suhu udara. Pada saat udara tersebut di kompresi oleh kompresor nitrogen generator

dan mencapai nilai 6 kg/cm^2 maka kandungan air dalam satu volume meningkat. Untuk menghilangkan kandungan air dalam udara diperlukan sistem pengering udara. Pada sistem nitrogen generator diperlukan kelembaban maksimal 25 g/m^3 pada tekanan 8 bar.

Air dryer (sistem pengering udara) adalah suatu alat yang berfungsi untuk menghilangkan kandungan air pada *compressed air* (udara terkompresi). Sistem pengering udara terbagi dari beberapa jenis antara lain adalah *Regenerative Desiccant Dryers*, *Refrigeration Dryer*, *Deliquescent Dryer* dan *Membrane Dryer* (Brundrett, 1987).

Pada kapal penulis menggunakan prinsip kerja pada *refrigeration dryer*, cara kerjanya udara dikeringkan dengan cara mendinginkan udara sampai titik *dewpoint*. Sistem ini umumnya menggunakan 2 buah *heat exchanger*, yang pertama adalah kondensor dan yang kedua adalah evaporator. Kondensor berfungsi untuk mendinginkan cairan *refrigerant* setelah itu cairan *refrigerant* akan mendinginkan udara di evaporator. Prinsip kerja ini sesuai dengan sifat uap air yang akan mengembun pada temperatur rendah. Udara umumnya memiliki *dew point* sebesar 0-10 derajat celcius. Angka tersebut berdasar buku manual sistem pengering udara (Brundrett, 1987).



Gambar 2.2 Sistem pengering udara

(Sumber : *Synthetic Nitrogen Product*, 2004).

Menurut Maxwel (2004), prinsip kerja sitem pengering udara dimulai dari hidupnya kompresor, *refrigerant* akan di kompresi menjadi bertekanan lalu didinginkan oleh kondensor. *Refrigerant* yang semula berbentuk gas akan terkondensasi menjadi cair. Lalu *refrigerant* cair akan di ekspansikan menjadi tekanan rendah. Setelah itu *refrigerant* cair akan menuju evaporator dan berfungsi untuk mendinginkan udara yang berasal dari kompresor utama, udara didinginkan sampai mencapai suhu $0-10^{\circ}\text{C}$ sehingga terjadilah kondensasi pada uap air di udara. Udara yang kering akan masuk ke sistem pemisah nitrogen. Cairan *refrigerant* akan

terevaporasi di evaporator dan menjadi uap dan kembali di hisap oleh kompresor. Proses akan berulang sampai nitrogen generator di matikan.

3. *Refrigerated air dryer*

a. Teori Dasar

Pada suatu siang yang panas kita membuat es teh. Beberapa menit kemudian permukaan luar gelas berkeringat dan basah padahal gelas tidak bocor. Hal ini disebabkan oleh terkondensasinya uap air di udara bebas oleh gelas es yang mencapai titik embun (Desamen, 2013)

b. Siklus Aliran *Refrigerant*

Sistem pengering udara menggunakan sistem pendinginan menggunakan *refrigerant* yang mana terdapat beberapa proses penting di dalamnya. Menurut Desamen (2013) secara umum prinsip kerja pendinginan adalah sebagai berikut :

- 1) Penyerapan panas oleh evaporator
- 2) Pemompaan panas oleh kompresor
- 3) Pelepasan panas oleh kondensor

Prinsip kerja sitem pengering udara tidak berbeda jauh dengan prinsip pada Kulkas dan AC, hanya saja pada sistem pengering udara pemindahan panas diperlukan energi tambahan yang ekstra besar karena yang udara didinginkan skalanya lebih besar dan banyak. Di dalam sistem pengering udara bentuk *refrigerant* berubah-ubah bentuk dari bentuk gas ke bentuk cairan. Pada

kompresor *refrigerant* masih berupa uap, tekanan dan panasnya dinaikkan dengan cara dimampatkan oleh piston dalam silinder kompresor. Kemudian uap panas tersebut didinginkan pada saluran pipa kondensor agar menjadi cairan. Pada saluran pipa kondenser dialiri oleh air laut untuk mempercepat proses pendinginan. Proses pelapasan panas ini disebut teknik pengembunan (Desamen, 2013).

Selanjutnya cairan *refrigerant* dimasukkan ke dalam evaporator dan dikurangi tekanannya sehingga menguap dan menyerap panas udara sekitar. Udara bertekanan dari kompresor utama nitrogen generator mengalir melewati evaporator sistem pengering udara, sehingga udara menjadi dingin dan uap air mencapai titik embun. Sehingga udara yang telah melewati evaporator menjadi kering. Dalam bentuk uap (gas) *refrigerant* dihisap lagi oleh kompresor. Demikian proses tersebut berulang terus sampai sistem dimatikan (Desamen, 2013).

c. Komponen utama sistem pengering udara

1) Kompresor

Jika dianalogikan, cara kerja kompresor layaknya seperti jantung di tubuh manusia, sebagai pusat sirkulasi darah yang diedarkan keseluruh tubuh. Kompresor sistem pendingin berfungsi sebagai pusat sirkulasi (memompa dan mengedarkan) bahan pendingin atau *refrigerant* (Freon) keseluruh bagian. Fungsi kompresor lainnya adalah membentuk dua daerah tekanan yang berbeda, daerah

bertekanan tinggi dan rendah. Ada tiga jenis kompresor sistem pendingin yang banyak beredar dipasaran (Desamen, 2013), yaitu :

- a). Kompresor torak (*reciprokating compressor*)
- b). *Sentrifugal* kompresor
- c). *Rotary* kompresor

Ketiga jenis kompresor tersebut memiliki cara kerja yang berbeda , tetapi prinsipnya sama yaitu menciptakan kompresi (tekanan) dan kecepatan laju aliran pada refrigran atau freon sebagai fluida di dalam sistem pendinginan (Desamen, 2013).

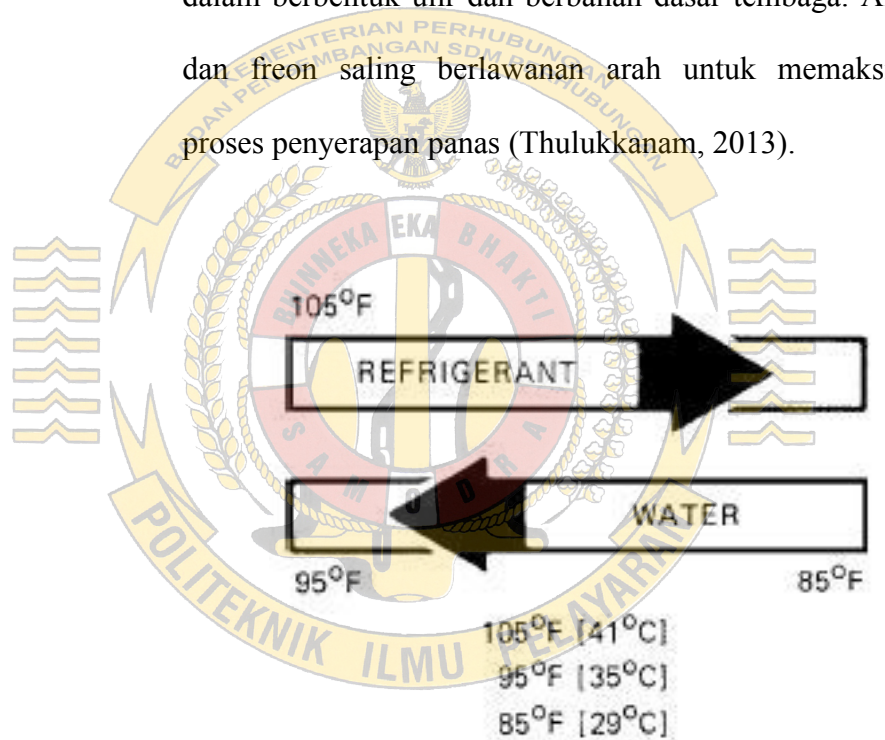


Gambar 2.3 Bentuk pipa dalam kondensator *coaxial*

(Sumber : ref-wiki.com/coaxialcondenser)

Kondensator berfungsi sebagai alat penukaran kalor, menurunkan temperatur refrigran dari bentuk gas menjadi cair. Kondensator di pada sistem pengering udara di MT. Gas Maluku menggunakan tipe *coaxial* dimana pipa cairan freon dan pipa air laut berada pada satu sumbu yang berlawanan arah (Desamen, 2013).

Kondensor yang digunakan di sistem pengering udara adalah tipe *coaxial* berpendingin air. Kondensor ini berwujud sebuah pipa yang berdiameter 1.5 inci dan di dalamnya terdapat pipa lagi. Dalam struktur pembuatannya, pipa bagian dalam akan dialiri oleh air laut dan pipa bagian luar akan dialiri oleh freon. Dalam bentuk pembuatannya, pipa bagian dalam berbentuk ulir dan berbahan dasar tembaga. Aliran air dan freon saling berlawanan arah untuk memaksimalkan proses penyerapan panas (Thulukkanam, 2013).

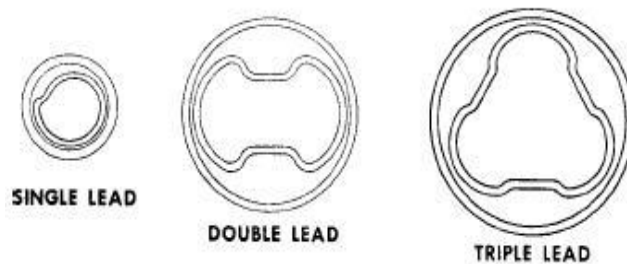


Gambar 2.4 Arah aliran freon dan air

(Sumber : ref-wiki.com/coaxialcondenser)

Tembaga dan aluminium digunakan sebagai bahan dasar evaporator karena kemampuan transfer panas yang bagus dan tahan terhadap korosi air laut. Bentuk pipa yang spiral dimaksudkan agar semakin lebar permukaan bagian yang didinginkan, semakin lebar permukaan maka semakin

besar jumlah panas yang dapat ditransfer (Thulukkanam, 2013).



Gambar 2.5 Struktur bentuk pipa kondensor

(Sumber : ref-wiki.com/coaxialcondenser)

Bentuk struktur pipa terdapat tiga jenis yaitu *single lead*, *double lead* dan *triple lead*. *Lead* adalah jumlah ulir yang ada dalam satu pipa. Sebagai contoh, pipa dengan *triple lead* memiliki tiga ulir dalam satu pipa. Ulir ini memungkinkan aliran freon berputar memutar pipa aliran air. Berputarnya aliran freon mengelilingi aliran air diharapkan proses penyerapan panas dapat berlangsung maksimal (Thulukkanam, 2013).

Pipa sisi air laut memiliki bentuk ulir , sehingga lebar permukaan bertambah. Karena lebar permukaan bertambah maka kemungkinan proses penyerapan panas semakin besar. Sesuai dengan hukum Fourie rmenyatakan bahwa tingkat (rate) perpindahan panas melalui sebuah material adalah berbanding lurus dengan gradien negatif pada suhu dan luas, pada sudut siku pada gradien tersebut, melalui dimana panas mengalir. (Kuppan Thulukkanam, 2013)

$$q_x = \frac{dT}{dx / kA} \Rightarrow q_x = k A \frac{dT}{dx}$$

Keterangan :

Q_x : Laju pindah panas dalam arah x (Watt atau cal/dt, atau Btu/jam)

dT : Perbedaan temperatur (K, oC atau oF)

Dx : Jarak perpindahan panas (m, cm atau ft) A : Luas penampang (m², cm², atau ft²)

K : konduktifitas panas (Watt/m.k, cal/dt.oC.cm, atau Btu/jam.oF.ft)

3) Katup Ekspansi Termostatik

Katup ekspansi berfungsi mengabutkan gas freon melalui proses ekspansi, selain itu berfungsi mengatur jumlah *refrigerant* yang masuk ke dalam evaporator dalam batas yang sama dengan kapasitas isap kompresor. Selama sistem sedang bekerja, katup tersebut dapat membuat/mempertahankan tekanan evaporator dan tekanan saluran isap tetap konstan, sehingga beban kompresor juga menjadi konstan. Katup ekspansi otomatis dapat mengatur tekanan evaporator agar tetap konstan pada batas tekanan yang telah ditentukan. Jadi katup tersebut akan membantu dan membuat kapasitas yang konstan pada beban yang berubah-ubah. Katup ekspansi termostatik juga

dapat mempertahankan gas panas lanjut (*superheat*) yang konstan. Katup ekspansi tersebut tidak mengatur tekanan dan temperatur dalam evaporator, tetapi mengontrol jumlah refrigeran yang mengalir melalui katup ekspansi termostatik lalu ke evaporator, selain dikontrol oleh tekanan rendah dalam evaporator, juga oleh temperature dan tekanan pada akhir evaporator (Desamen, 2013).

Katup ekspansi termostatik mempunyai batas (range) suhu evaporator yang besar dan *superheat* yang mudah disetel. Proses ekspansi yang terjadi di dalam katup ekspansi adalah sebagai berikut, *refrigerant* cair tekanan kondensasi (tinggi) turun menjadi tekanan penguapan (rendah), *refrigerant* masuk ke katup ekspansi berwujud cair, kemudian sebagian (15-20%) berubah menjadi uap waktu keluar dari katup tersebut, jumlah kalor dalam *refrigerant* sebelum masuk katup ekspansi dan setelah keluar katup ekspansi tetap sama (Desamen, 2013).

4) Evaporator

Evaporator berfungsi menyerap dan menghasilkan panas dari udara ke refrigeran. Akibatnya, wujud cair refrigeran setelah melewati pipa kapiler akan berubah wujud menjadi gas. Secara sederhana, evaporator bisa dikatakan sebagai alat penukar panas. Udara panas disekitar ruangan pendingin di serap oleh evaporator dan masuk melewati sirip-sirip pipa sehingga suhu

udara yang keluar dari sirip-sirip menjadi lebih rendah dari kondisi semula atau dingin (Desamen, 2013).

Bagian evaporator memerlukan pembersihan secara berkala. Pembersihan sirip-sirip pipa evaporator menjadi sangat penting karena berpengaruh pada laju perpindahan panas udara ruangan. Ketika sirip-sirip pipa evaporator tersumbat oleh kotoran, penyerapan panas pada udara tidak berjalan dengan baik. Akibatnya, embusan udara yang keluar dari sistem pendingin terasa kurang dingin. Pada dasarnya, evaporator dan kondensor merupakan alat penukar panas, tetapi mempunyai prinsip kerja yang berlawanan. Dengan demikian, kedua bagian ini merupakan komponen yang sangat penting dan berpengaruh terhadap kerja sistem pendinginan secara keseluruhan (Desamen, 2013).

d. Komponen pendukung

1) *Strainer*

Strainer atau saringan berfungsi sebagai menyaring kotoran yang terbawa oleh *refrigerant* di dalam sistem. Kotoran yang lolos dari saringan karena *strainer* rusak dapat menyebabkan penyumbatan pipa kapiler. Akibatnya, sirkulasi *refrigerant* menjadi terganggu. Biasanya, kotoran yang menjadi penyumbatan sistem pendingin, seperti karat dan serpihan logam (Desamen, 2013).

2) *Accumulator*

Accumulator berfungsi sebagai penampung sementara refrigeran cair ber temperatur rendah dan campuran minyak pelumas evaporator. Selain itu, *accumulator* juga berfungsi mengatur sirkulasi aliran bahan *refrigerant* agar bisa keluar masuk melalui saluran yang terdapat di bagian atas *accumulator* menuju ke saluran hisap kompresor. Untuk mencegah agar *refrigerant* cair tidak mengalir ke kompresor, *accumulator* mengkondisikan wujud refrigeran tetap dalam wujud gas, sebab ketika wujud *refrigerant* berbentuk gas akan lebih mudah masuk kedalam kompresor dan tidak merusak bagian dalam kompresor (Desamen, 2013).

3) Minyak Pelumas Kompresor

Minyak pelumas atau oli kompresor pada sistim berguna untuk melumasi bagian-bagian kompresor agar tidak cepat aus karena gesekan. Selain itu, minyak pelumas berfungsi meredam panas dibagian-bagian kompresor. Sebagian kecil dari oli kompresor bercampur dengan refrigeran, kemudian ikut bersirkulasi di dalam sistem pendingin melewati kondensor dan evaporator. Oleh sebab itu, oli kompresor harus memiliki persyaratan khusus, yaitu bersifat melumasi, tahan terhadap temperatur kompresor yang tinggi, memiliki titik beku yang rendah karena bercampur dengan refrigeran, dan tidak menimbulkan efek negatif (merusak) pada sifat *refrigerant* (Desamen, 2013).

e. Alat-alat kontrol pada Mesin Pendingin

1) Katup ekspansi

Katup ekspansi adalah sebuah katup yang berfungsi untuk mengatur jumlah freon masuk ke evaporator berdasarkan sinyal yang di kirim thermal bulb dan juga untuk menurunkan tekanan freon cair supaya dapat mudah menguap (Desamen, 2013).

2) Dual *pressure switch*

Dalam sistem pengering udara terdapat alat kontrol untuk mengatur jalannya kompresor. Kompresor akan mati jika tekanan isap sudah mencapai 0,2 kg/cm² dan akan hidup lagi secara otomatis apabila tekanan 1,2 kg/cm². Untuk tekanan keluarannya kompresor akan mati pada tekanan 14 kg/cm². Rendah ini di sandang oleh *Dual Pressure Switch* (Desamen, 2013).

f. Alal-alat Keamanan pada Mesin Pendingin

1) *Overload Protector*.

Overload protector di pasang secara seri dengan kompresor. Jika arus listrik yang dipakai oleh kompresor melebihi ambang batas normal, *overload protector* akan bekerja memutus arus listrik. Hal ini untuk keamanan compressor agar tidak terjadi kerusakan fatal (Desamen, 2013).

2) *Safety valve*

Untuk mencegah terjadinya ledakan dari kondensor jika tekanan kondensor naik terus perlu adanya alat keamanan. Karena jika ledakan terjadi sangat berbahaya. Hal ini biasa terjadi akibat jika *high pressure switch*nya tidak bekerja. *Safety valve* bekerja pada tekanan 15 kg/ cm² (Desamen, 2013).

4. Temperatur *dewpoint*

Temperatur *dewpoint* adalah temperatur udara saat saturasi atau temperatur dimana uap air mulai mengembun ketika campuran udara dan uap air didinginkan. Pada saat saturasi, temperatur *dewpoint*, bola basa dan kering pada angka yang sama. Temperatur *dewpoint* menunjukkan kalor laten yang terjadi karena setiap perubahan temperatur *dewpoint* mengakibatkan perubahan kalor laten (Maxwell, 2004).

Bila udara ruangan didinginkan sampai titik embunnya dengan cara dilewatkan evaporator maka air akan mengembun di permukaan evaporator. Bila suhu di bawah titik beku air, titik embun disebut titik beku, karena embun beku berbentuk es. Pengukuran titik embun berhubungan dengan kelembaban. Titik embun yang lebih tinggi berarti akan ada lebih banyak uap air di udara (Maxwell, 2004).

Contoh perhitungan *dewpoint* bila yang di ketahui adalah *relative humidity* (kelembaban relatif) dan temperatur ruangan.

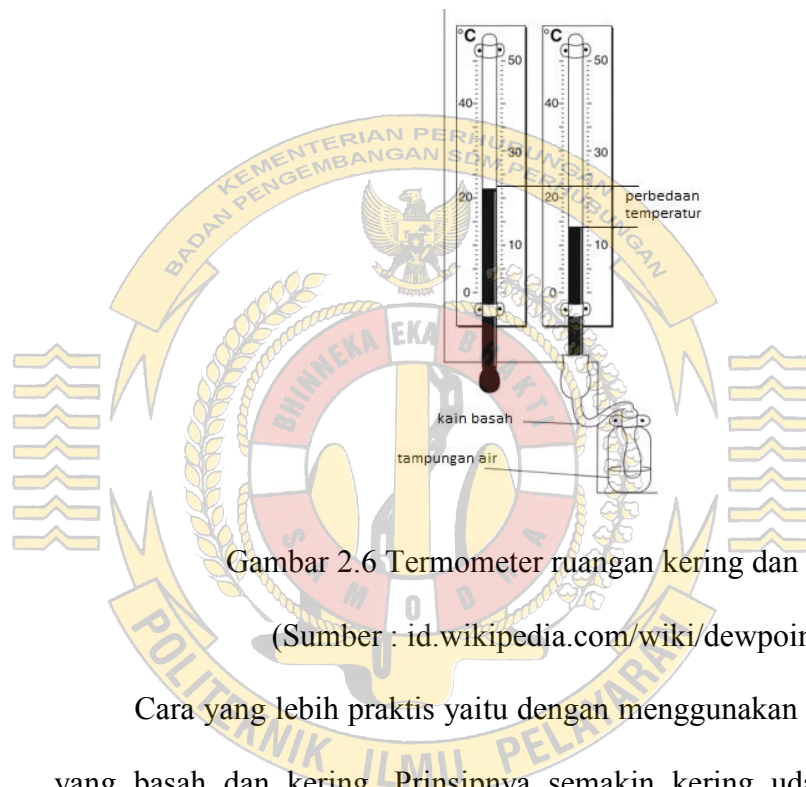
$$\text{Dew Point} = \frac{243.12 \times \left\{ \ln \left(\frac{RH}{100} \right) + \frac{17.62 \times T}{243.12 + T} \right\}}{17.62 - \left\{ \ln \left(\frac{RH}{100} \right) + \frac{17.62 \times T}{243.12 + T} \right\}}$$

Keterangan :

RH : Kelembaban relatif

T : Temperatur ruangan

Dewpoint juga dapat dihitung menggunakan bantuan termometer basah dan kering. Contoh perhitungan *dewpoint* menggunakan alat termometer basah dan kering (Brundrett, 1987).

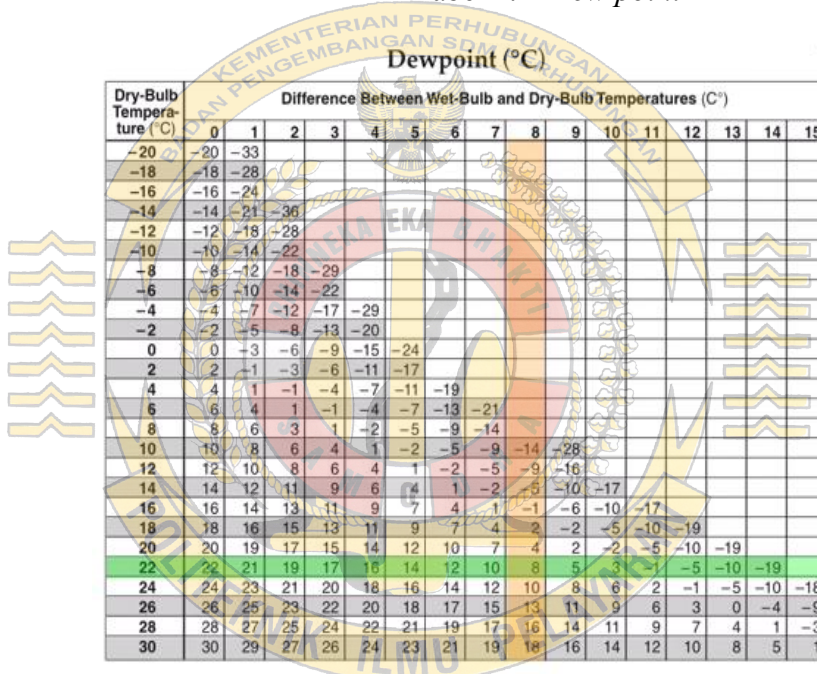


Gambar 2.6 Termometer ruangan kering dan basah

(Sumber : id.wikipedia.com/wiki/dewpoint)

Cara yang lebih praktis yaitu dengan menggunakan 2 termometer, yang basah dan kering. Prinsipnya semakin kering udara, maka air semakin mudah menguap karena penguapan butuh kalor maka akan menurunkan suhu pada termometer basah. Sedangkan termometer kering mengukur suhu aktual udara. Akibatnya jika perbedaan suhu antara keduanya semakin besar, maka artinya kelembaban relatif udara semakin rendah. Sebaliknya jika suhu termometer basah dan termometer kering sama, artinya udara berada pada kondisi lembab jenuh (Brundrett, 1987).

Berdasarkan perbedaan termometer basah dan kering dapat dicari *dewpoint* yang tepat untuk mengeringkan udara pada sistem pengering udara. Dari contoh diatas dapat di baca bahwa temperatur kering 22°C dan basah 14°C dan perbedaannya 8°C. Bila di masukan ke tabel maka didapat *dewpoint* sebesar 8°C. Metode berikut adalah salah satu metode paling mudah (Brundrett, 1987).

Tabel 2.1 *Dew point*


Dry-Bulb Temperature (°C)	Difference Between Wet-Bulb and Dry-Bulb Temperatures (°C)															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
-20	-20	-33														
-18	-18	-28														
-16	-16	-24														
-14	-14	-21	-36													
-12	-12	-18	-28													
-10	-10	-14	-22													
-8	-8	-12	-18	-29												
-6	-6	-10	-14	-22												
-4	-4	-7	-12	-17	-29											
-2	-2	-5	-8	-13	-20											
0	0	-3	-6	-9	-15	-24										
2	2	-1	-3	-6	-11	-17										
4	4	1	-1	-4	-7	-11	-19									
6	6	4	1	-1	-4	-7	-13	-21								
8	8	6	3	1	-2	-5	-9	-14								
10	10	8	6	4	1	-2	-5	-9	-14	-28						
12	12	10	8	6	4	1	-2	-5	-9	-16						
14	14	12	11	9	6	4	1	-2	-5	-10	-17					
16	16	14	13	11	9	7	4	1	-1	-6	-10	-17				
18	18	16	15	13	11	9	7	4	2	-2	-5	-10	-19			
20	20	19	17	15	14	12	10	7	4	2	-2	-5	-10	-19		
22	22	21	19	17	16	14	12	10	8	5	3	-1	-5	-10	-19	
24	24	23	21	20	18	16	14	12	10	8	6	2	-1	-5	-10	-18
26	26	25	23	22	20	18	17	15	13	11	9	6	3	0	-4	-9
28	28	27	25	24	22	21	19	17	16	14	11	9	7	4	1	-3
30	30	29	27	26	24	23	21	19	18	16	14	12	10	8	5	1

(Sumber : Handbook of Dehumidification Technology, 1987).

5. Kelembaban (*humidity*)

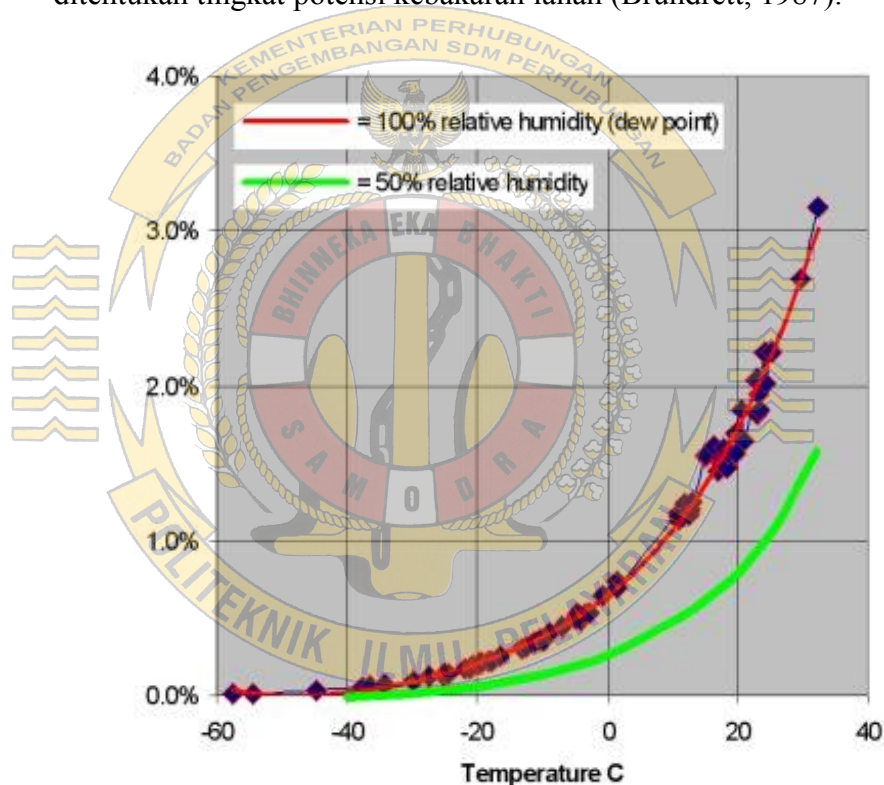
Kelembaban adalah kandungan uap air di udara. Angka kandungan ini dapat diekspresikan dalam kelembaban absolut, kelembaban spesifik atau kelembaban relatif. Alat untuk mengukur kelembaban disebut higrometer. Dapat dianalogikan dengan sebuah termometer dan termostat untuk suhu udara. Perubahan tekanan sebagian uap air di udara berhubungan dengan perubahan suhu.

Konsentrasi air di udara pada tingkat permukaan laut dapat mencapai 35.32 g/m^3 pada $35 \text{ }^\circ\text{C}$ dan tidak melebihi 4.8 g/m^3 pada $0 \text{ }^\circ\text{C}$ (Brundrett, 1987).

Kelembaban udara menggambarkan kandungan uap air di udara yang dapat dinyatakan sebagai kelembaban mutlak, kelembaban relatif maupun defisit tekanan uap air. Kelembaban mutlak adalah kandungan uap air (dapat dinyatakan dengan massa uap air atau tekanannya) per satuan volume. Kelembaban relatif membandingkan antara kandungan/tekanan uap air aktual dengan keadaan jenuhnya atau pada kapasitas udara untuk menampung uap air. Kapasitas udara untuk menampung uap air tersebut (pada keadaan jenuh) ditentukan oleh suhu udara. Sedangkan defisit tekanan uap air adalah selisih antara tekanan uap jenuh dan tekanan uap aktual. Masing-masing pernyataan kelembaban udara tersebut mempunyai arti dan fungsi tertentu dikaitkan dengan masalah yang dibahas (Brundrett, 1987).

Semua uap air yang ada di dalam udara berasal dari penguapan. Penguapan adalah perubahan air dari keadaan cair ke keadaan gas. Pada proses penguapan diperlukan atau dipakai panas, sedangkan pada pengembunan dilepaskan panas. Seperti diketahui, penguapan tidak hanya terjadi pada permukaan air yang terbuka saja, tetapi dapat juga terjadi langsung dari tanah dan lebih-lebih dari tumbuh-tumbuhan. Penguapan dari tiga tempat itu disebut dengan evaporasi (Brundrett, 1987).

Kelembaban relatif dari suatu campuran udara-air didefinisikan sebagai rasio dari tekanan parsial uap air dalam campuran terhadap tekanan uap jenuh air pada temperatur tersebut. Perhitungan kelembaban relatif ini merupakan salah satu data yang dibutuhkan (selain suhu, curah hujan, dan observasi visual terhadap vegetasi) untuk melihat seberapa kering areal perkebunan sehingga nantinya dapat ditentukan tingkat potensi kebakaran lahan (Brundrett, 1987).



Gambar 2.7 Fraksi jenuh air pada permukaan air laut

(Sumber : id.wikipedia.com/wiki/humidity)

Menurut Brundrett (1987), tinggi rendahnya kelembaban udara di suatu tempat sangat bergantung pada beberapa faktor sebagai berikut :

- a. Suhu.
- b. Tekanan udara.

- c. Pergerakan angin.
 - d. Kuantitas dan kualitas penyinaran.
 - e. Vegetasi dsb.
 - f. Ketersediaan air di suatu tempat (air, tanah, perairan).
6. Kondensasi

Kondensasi adalah peristiwa perubahan wujud zat dari gas menjadi cair. Kondensasi dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu kondensasi eksterior dan kondensasi interior. Kondensasi eksterior terjadi ketika udara lembab menyentuh permukaan dingin seperti kaca. Kondensasi akan terjadi jika suhu permukaan tersebut berada di bawah titik embun udara (*dewpoint*) (Brundrett, 1987).

Titik embun udara adalah suhu/temperatur di mana uap air dalam udara mengembun menjadi air pada kecepatan yang sama dengan kecepatan air itu menguap pada tekanan udara konstan. Kondensasi seperti ini biasa terlihat ketika malam hari yang dingin diikuti dengan siang hari yang hangat (Brundrett, 1987).

Di sisi lain, kondensasi interior dapat terjadi ketika kelembaban udara terlalu berlebihan dalam suatu ruang tertutup. Kelembaban udara yang berlebihan ini biasa menyebabkan pengembunan pada kaca jendela yang berbatasan dengan udara luar (Brundrett, 1987).

Banyaknya pengembunan berbanding lurus dengan banyaknya udara hangat dalam ruang. Semakin banyak udara hangat maka semakin banyak pula uap air yang dimiliki sehingga semakin banyak pula pengembunan yang terjadi pada permukaan (Brundrett, 1987).

7. Proses kompresi

Menurut Winterbone (2015), kompresi adalah proses pemampatan gas sehingga tekanannya lebih tinggi dari pada tekanan semula. Proses ini dipakai dalam banyak cabang bidang teknik. Istilah kompresi umumnya dipakai untuk proses yang melibatkan peningkatan tekanan dan kerapatan gas. Dalam praktik, sebagian besar kompresi gas adalah proses kompresi udara. Udara yang dikompresi sering disebut udara tekan. Udara tekan lazim dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk menggerakkan dongkrak, alat kendali otomatis, rem angin, produksi gas botol, proses teknik kimia, dan berbagai macam penggunaan lainnya.

Proses kompresi dilakukan untuk berbagai keperluan, termasuk menghasilkan udara berdaya tekan untuk memproduksi nitrogen. Proses kompresi udara secara termodinamika dapat dibagi menjadi tiga, yaitu :

a. Kompresi isothermal

Dalam kompresi isothermal, temperature gas tidak berubah, sehingga temperature gas pada akhir langkah kompresi sama dengan temperature gas pada awal kompresi. Dalam hal ini kenaikan temperature gas dapat dicegah karena panas yang timbul selama proses kompresi segera diserap sempurna oleh fluida pendinginan melalui silinder. Terlihat sederhana tetapi proses kompresi isothermal sulit dilaksanakan. Tetapi dengan kompresi isothermal kerja yang digunakan adalah yang paling rendah jika dibandingkan dengan jenis proses kompresi lain (Winterbone, 2015)

b. Kompresi politropik

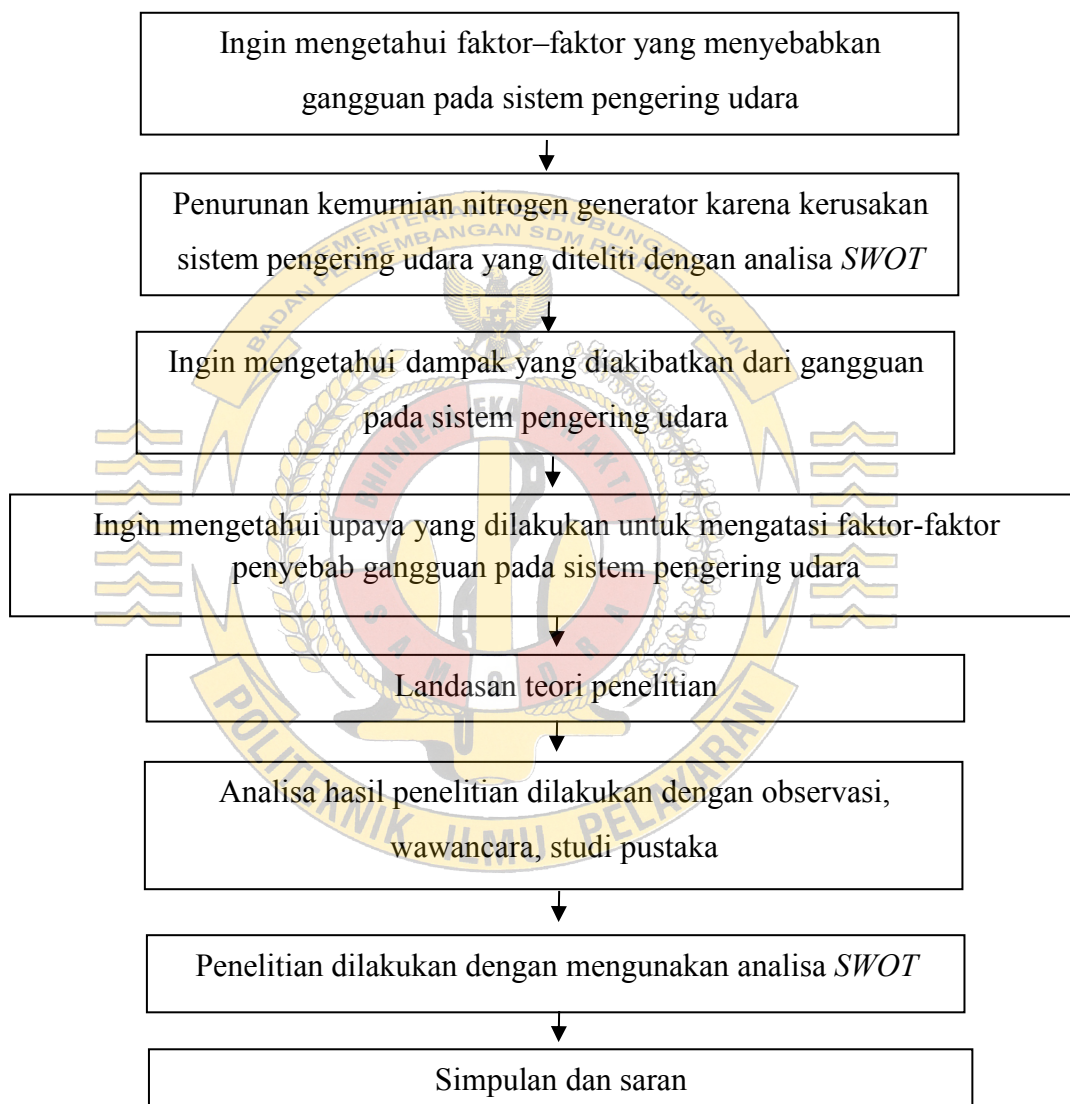
Dalam kompresi politropik temperatur gas setelah kompresi lebih tinggi dari pada temperatur pada awal langkah kompresi meskipun selama proses tersebut berlangsung terjadi perpindahan kalor dari silinder sekitarnya. Kompresi gas *refrigerant* didalam kompresor dalam keadaan nyata kira-kira mendekati proses kerja kompresi politropik. Usaha yang diperlukan untuk kompresi politropik lebih besar dari pada untuk kompresi isothermal tetapi lebih rendah dari pada untuk kompresi adabatik. Disamping itu kenaikan tekanan yang diperoleh dengan kompresi politropik lebih besar dari pada dengan kompresi isothermal dan lebih rendah dari pada kompresi adiabatik (Winterbone, 2015).

c. Kompresi adiabatik

Kompresi adiabatik adalah proses kompresi tanpa perpindahan kalor dari gas dan sekitarnya, yaitu dengan jalan memberikan isolasi panas secara sempurna pada dinding silinder. Kompresi adiabatik membuat, temperatur gas akan naik dan lebih tinggi dari pada kenaikan yang terjadi dengan kompresi politropik. Kompresi adiabatic memerlukan usaha besar untuk kompresi yang lebih besar tetapi akan diperoleh kenaikan tekanan yang tinggi. Hubungan antara tekanan dan volume pada awal langkah kompresi dan pada akhir kompresi dapat dinyatakan sebagai proses kompresi di dalam kompresor, dalam kenyataanya bukanlah kompresi adiabatik maupun kompresi isothermal akan tetapi kompresi politropik. Kompresi politropik prosesnya mendekati kompresi

adiabatic, maka dalam perhitungannya menggunakan diagram Mullier proses kompresi tersebut tidak dianggap adiabatic (Winterbone, 2015).

B. Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 2.8 Kerangka pikir

(Sumber : Penulis)

Berdasarkan kerangka pikir diatas, dapat dijelaskan dari topik yang dibahas yaitu kualitas air, yang mana dari topik tersebut akan menghasilkan faktor penyebab dari topik masalahnya dan penulis ingin mengetahui faktor

penyebab tersebut serta upaya ataupun usaha yang dilakukan untuk mengatasi masalah yang ada.

Setelah diketahui upaya apa yang dilakukan, selanjutnya membuat landasan teori dari permasalahan diatas untuk selanjutnya dilakukan analisa hasil penelitian melalui observasi, wawancara, dan studi pustaka yang dilakukan peneliti yang selanjutnya akan diketahui faktor-faktor apa dan kemungkinan masalah tersebut dapat berkembang melalui analisa *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats (SWOT)*, dari faktor-faktor yang akan dibahas maka akan menghasilkan simpulan dan saran dari penulis untuk dapat mengatasi gangguan pada sistem pengering udara

C. Definisi Operasional

Pemakaian istilah - istilah dalam bahasa Indonesia maupun bahasa asing akan sering ditemui pada pembahasan skripsi. Agar tidak terjadi kesalahpahaman dalam mempelajarinya maka di bawah ini akan dijelaskan pengertian dari istilah-istilah tersebut :

1. Freon adalah salah satu dari beberapa senyawa alifatik sederhana yang digunakan untuk media pendingin.
2. Temperature *dewpoint* adalah titik embun udara artinya suhu di mana udara mulai mengembun menimbulkan titik-titik air
3. Kondensor adalah peralatan yang berfungsi untuk mengubah uap menjadi air.
4. Evaporator merupakan suatu alat untuk mengubah keseluruhan atau sebagian larutan berbentuk cair menjadi uap.

5. Kompresor adalah alat mekanik yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan gas atau udara.
6. *Purging* adalah proses pembersihan tanki muatan gas dengan cara memberi tekanan nitrogen murni agar gas sisa dan oksigen hilang.
7. KKM (kepala kamar mesin) adalah perwira mesin yang bertanggung jawab atas seluruh permesinan di kamar mesin.
8. Masinis adalah perwira mesin yang bekerja berdasarkan perintah KKM
9. *Impeller* adalah bagian pompa yang berputar berfungsi untuk menghisap dan mendorong cairan
10. *Clearance* adalah jarak dari dua bagian mesin

