

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Terdahulu**

Dedy Eko Rahmanto, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan Institut Pertanian Bogor (2011), telah melakukan penelitian tentang “Rancang Bangun Alat Pengering Dengan Memanfaatkan Panas Buang Kondensor AC Ruang Untuk Pengeringan Bahan Pangan (Kasus Pengeringan Chips Kentang)”. Pengeringan yang dilakukan dengan metode penurunan kadar air bahan pangan yang bertujuan untuk pengawetan ataupun memudahkan proses selanjutnya. Penelitian ini menganalisis pengaruh kecepatan aliran udara dari kipas kondensor AC ruangan terhadap panas yang dihasilkan kondensor AC dan pengaruhnya terhadap kinerja pendingin serta menghitung efisiensi alat pengering hasil rancangan. Hasil pengukuran suhu dan kelembaban udara keluaran kondensor AC diperoleh  $42^{\circ}\text{C}$ , RH 35 %, dan laju aliran udara sekitar  $15,31 \text{ m}^3/\text{menit}$ . suhu lingkungan sekitar sebesar  $30^{\circ}\text{C}$  dengan RH 65 % [3].

Husain Syam, dari Fakultas Teknik Universitas Negeri Makasar (2019), telah melakukan penelitian tentang “Potensi Panas Terbuang Kondensor AC Sebagai Sumber Pemanas Pada Cabinet Dryer”. penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi panas terbuang kondensor AC dan membandingkan potensi sesungguhnya yang dimiliki oleh kondensor AC sebagai sumber pemanas untuk alat pengering, dengan penggunaannya pada pengering bahan herbal tanaman kunyit. Hasil pengujian pengeringan selama 30 menit pertama dengan bahan uji kunyit alat pengering hanya mampu mencapai rak 1 =  $30,7^{\circ}\text{C}$  , rak 2 =  $31,4^{\circ}\text{C}$ , rak 3 =  $31,7^{\circ}\text{C}$ , rak 4 =  $32,1^{\circ}\text{C}$ , rak 5 =  $32,8^{\circ}\text{C}$ , rak 6 =  $33,5^{\circ}\text{C}$  , pada plenum chamber  $36,8^{\circ}\text{C}$ , dan pada saluran udara panas sebesar  $38,8^{\circ}\text{C}$  [5].

Yudhy Kurniawan dkk, Program Studi Teknik Pendingin Dan Tata Udara, Politeknik Negeri Indramayu (2020). Telah melakukan penelitian tentang “Kaji Eksperimental Panas Kondensor AC Split Dengan Variasi Putaran Fan Untuk Pengeringan Padi”. Penelitian yang telah dilakukan ini bertujuan untuk mempercepat proses pengeringan padi yang selama ini para petani lakukan secara manual atau hanya dengan mengandalkan sumber panas matahari secara langsung.

Dari hasil pengukuran penelitian ini diperoleh data temperatur pada saluran udara yaitu sebesar  $53,3^{\circ}\text{C}$  dan temperatur kabin yaitu sebesar  $53,6^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan untuk temperatur lingkungan yang didapat dari hasil pengukuran yaitu berkisar antara  $31,5^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $32,7^{\circ}\text{C}$ [2].

## 2.2 Pengertian Alat Pengkondisian Udara

Alat pengkondisian udara merupakan produk teknologi modern, konsep dari alat pendingin udara ini sudah dikenal sejak abad pertengahan, yaitu pada masa Romawi Kuno dan Persia. Willis Haviland Carrier menjadi orang pertama yang menemukan alat pengkondisian udara modern berskala besar yang menggunakan energi listrik pada tahun 1902. Beberapa tahun lalu, alat pengkondisian udara masih tergolong barang mahal yang hanya ada di kantor-kantor, hotel, mall, atau rumah mewah. Namun, sekarang alat pengkondisian udara sudah menjadi kebutuhan banyak orang, terutama di daerah tropis yang terkenal dengan iklim panas. Selain itu, alat pengkondisian udara sudah menjadi fasilitas wajib terutama di kamar-kamar hotel, ruangan kerja perusahaan, di ruangan kelas atau bahkan di cafe.

Pengertian alat pengkondisian udara adalah mesin yang dibuat untuk menstabilkan suhu dan kelembaban udara pada suatu ruangan. Kegunaan dari alat ini adalah untuk mendinginkan atau memanaskan ruangan, tergantung kebutuhan. Namun, alat pengkondisian udara sering disebut sebagai pendingin udara karena lebih banyak digunakan untuk menyejukkan ruangan. Selain itu, alat pengkondisian udara juga dimanfaatkan sebagai salah satu cara dalam upaya peningkatan produktivitas di lingkungan tempat kerja. Karena pada dasarnya manusia membutuhkan lingkungan udara yang nyaman untuk bisa bekerja dengan optimal.



**Gambar 2.1** Alat pengkondisian udara tipe split

Ada 4 jenis alat pengkondisian udara yang sering ditemui dan sering digunakan pada rumah tangga yaitu:

#### 1. Alat Pengkondisian Udara Tipe Split

Alat pengkondisian udara tipe split adalah jenis pendingin ruangan yang banyak diincar banyak orang karena memiliki bentuk yang praktis dan cocok untuk pendingin ruangan rumah yang tidak terlalu besar. alat pengkondisian udara tipe split ini juga terbagi lagi menjadi dua bagian utama. Bagian pertama adalah *unit outdoor* yang berada di luar ruangan yang terdiri dari kompresor, kondensor, *kondensor blower* dan *regrigerant filter*. Sedangkan bagian kedua adalah unit *indoor* yang meliputi filter udara, *evaporator*, *evaporator blower*, *ekspansion valve* dan *control unit*. Kemudian antara kedua unit tersebut dihubungkan dan diberi aliran listrik supaya bekerja dengan ideal. alat pengkondisian udara tipe split ini sangat cocok untuk ruangan yang tidak terlalu besar, seperti ruang kantor, ruang kelas, ruang perhotelan, dan ruang apartemen.

#### 2. Alat Pengkondisian Udara Tipe Window

Alat pengkondisian udara tipe window ini merupakan jenis alat pengkondisian udara yang bisa dibilang tertua. Alat pengkondisian udara jenis window ini, semua komponen mesin pendingin seperti kompresor, kondensor, filter udara, *blower*, evaporator, *ekspansion valve*, *controll unit*, dan *refrigerant filter*, terpasang pada satu base, kemudian *base plate* beserta semua komponen alat pengkondisian udara tersebut dimasukkan kedalam menjadi satu unit.

#### 3. Alat Pengkondisian Udara Tipe Sentral

Pendingin ruangan jenis ini umumnya digunakan di perkantoran atau di mall karena letaknya berada dilangit-langit dan berbentuk seperti corong. Di ruangan terpisah ada bagian alat pengkondisian udara berupa mesin yang cukup besar dimana itu merupakan mesin utama dan pengatur sirkulasi udara. Pada alat pengkondisian udara jenis ini udara didalam ruangan didinginkan pada cooling plant di luar ruangan, kemudian udara yang sudah dingin dialirkan kedalam ruangan tersebut lagi.

#### 4. Alat Pengkondisian Udara Tipe Berdiri ( *Air Conditioner Standing Floor* )

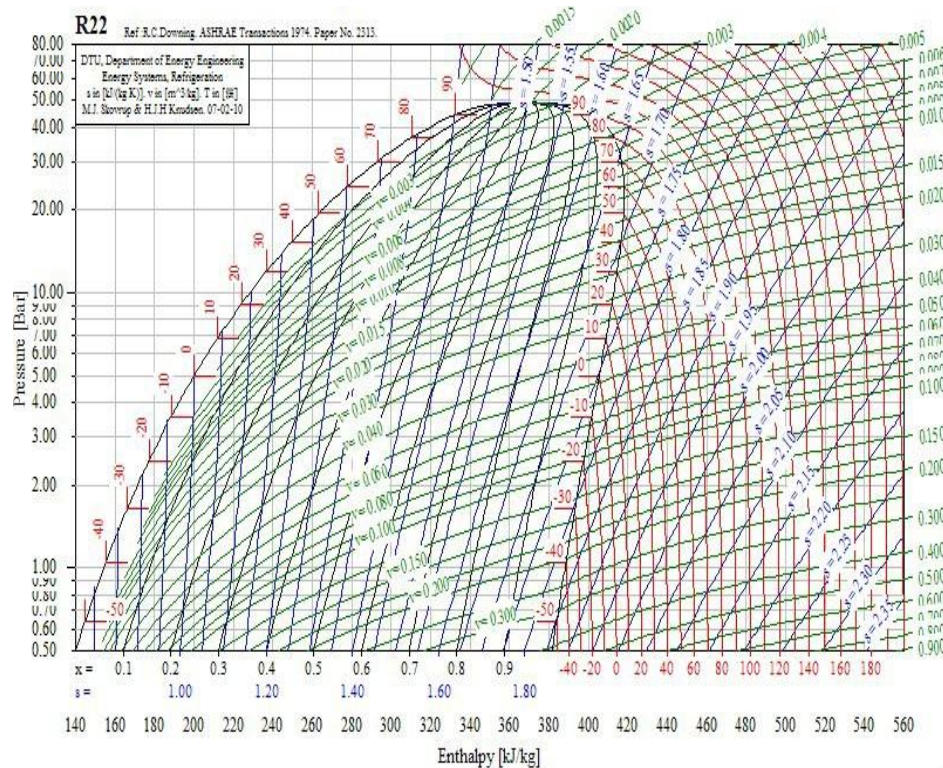
Pendingin ruangan jenis ini merupakan pendingin yang letaknya berada di lantai seperti lemari atau kulkas. Pendingin ruangan ini juga biasanya disebut

dengan *air conditioner Standing Floor*. Alat pengkondisian udara ini sangat cocok digunakan untuk kegiatan-kegiatan situasional karena fungsinya yang mudah dipindahkan, seperti acara seminar, acara pernikahan dan acara pengajaran.

## 2.3 Refrigerant Dan Kompresi Uap

### 2.3.1 Refrigerant

Refrigerant adalah fluida kerja yang bersirkulasi dalam siklus refrigerasi dan merupakan komponen terpenting siklus refrigerasi karena menimbulkan efek pendinginan dan pemanasan pada mesin refrigerasi[5]. Pada sebagian besar siklus, refrigerant mengalami perubahan wujud zat dari cair menjadi gas dan kembali lagi ke wujud cair, begitu terjadi secara terus menerus. Fungsi refrigerant yaitu Sebagai media perpindahan panas dalam sistem pendinginan, refrigerant sangat penting untuk diperhatikan sifat-sifatnya, selain itu refrigerant juga perlu dipertimbangkan dari segi ekonomisnya untuk pendinginan yang kapasitasnya cukup besar.



**Gambar 2.2** Diagram P-H refrigerant

### 2.3.2 Kompresi Uap

Mesin refrigerasi dengan kompresi uap merupakan sistem yang paling banyak digunakan dalam sistem refrigerasi. Prinsip dasar kompresi uap ini adalah uap ditekan kemudian diembunkan, setelah itu tekanannya diturunkan agar cairan itu

menguap kembali karena menyerap panas pada lingkungan. Dalam sistem kompresi diperlukan 4 komponen yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator[12].

Berikut ini adalah fungsi dari masing-masing komponen dan Sistem refrigerasi kompresi uap pada empat komponen utamanya yaitu:

a. Kompresor

Sistem kerja Kompresor yaitu menghisap uap refrigerant untuk dinaikan tekanannya, dengan naiknya tekanan tersebut maka temperatur refrigerantnya juga akan naik. Sehingga setelah keluar dari kompresor, refrigerant yang tadinya berbentuk uap panas lanjut. Energi yang diperlukan untuk kompresi diberikan oleh motor listrik untuk menggerakkan sebuah kompresor. Jadi dalam proses kompresi, energi diberikan kepada uap refrigerant.

b. Kondensor

Uap refrigerant yang bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi pada bagian akhir kompresi dengan mudah dicairkan dengan menggunakan fluida pendingin seperti udara atau air. uap refrigerant melepaskan kalor laten pengembunan kepada fluida pendingin, sehingga refrigerant mengembun dan menjadi cair. Pada siklus ideal tidak terjadi penurunan tekanan dan temperatur dikondensor. Sedangkan pada siklus aktual terjadi penurunan tekanan yang diikuti penurunan temperatur yang terjadi karena ada gesekan diantara refrigerant dengan pipa kondensor.

c. Katup Ekspansi (pipa kapiler)

Setelah uap refrigerant dicairkan di dalam sebuah kondensor, kemudian refrigerant cair yang bertekanan tinggi tersebut diekspansikan melalui pipa kapiler (katup ekspansi). Pada saat melewati pipa kapiler tersebut tekanan refrigeran mulai turun dan diikuti dengan turunnya temperatur refrigeran secara drastis.

d. Evaporator

Cairan refrigerant yang telah diekspansikan di dalam katup ekspansi (pipa kapiler) maka tekanannya akan menjadi turun serta temperaturnya kemudian masuk ke dalam pipa evaporator. Di dalam pipa evaporator, cairan refrigerant menguap secara berangsur-angsur karena menerima kalor laten pengembunan dari ruangan yang didinginkan. Selama proses penguapan, di dalam pipa akan terjadi campuran refrigerant-refrigerant dalam fasa cair dan fasa uap. Pada siklus ideal, temperatur

dan tekanan di dalam pipa dianggap konstan. Tetapi pada kondisi aktualnya terjadi penurunan tekanan dan temperatur yang diakibatkan karena adanya kerugian gesek antara refrigerant dan pipa evaporator.

## **2.4 Komponen Utama Alat Pengkondisian Udara**

Ada beberapa komponen utama dari alat pengkondisian udara diantaranya adalah sebagai berikut[12]:

### **2.4.1 Kompresor**

Salah satu komponen terpenting dalam sistem alat pengkondisian udara yaitu kompresor. Kompresor merupakan power unit dari sistem sebuah alat pengkondisian udara. Ketika alat pengkondisian udara dialiri arus listrik atau dijalankan, maka kompresor akan mengubah fluida kerja/refrigent yang berupa gas dari yang awalnya bertekanan rendah menjadi gas yang bertekanan tinggi. Gas bertekanan tinggi tersebut kemudian diteruskan menuju kondensor.

Secara umum kompresor dibagi menjadi dua jenis yaitu sebagai berikut:

#### **a. Kompresor Torak**

Kompresor jenis ini memiliki prinsip menghisap dan menekan zat pendingin yang dilakukan oleh gerakan torak di dalam silinder kompresor. Adapun kompresor jenis torak ini terdiri dari beberapa bentuk gerakan torak yaitu: tegak lurus, memanjang, aksial, radial dan menyudut.

#### **b. Kompresor Rotary**

Pada kompresor jenis ini Langkah hisap terjadi saat pintu masuk mulai terbuka dan berakhir setelah pintu masuk tertutup. Pada waktu pintu masuk sudah tertutup saat itulah dimulainya langkah tekan, sampai katup pengeluaran membuka, sedangkan pada pintu masuk secara bersamaan sudah terjadi langkah hisap, demikian seterusnya terjadi secara berulang.

### **2.4.2 Kondensor**

Kondensor merupakan bagian dari mesin pendingin yang berfungsi untuk membuang panas dari uap refrigerant ke udara. Proses pembuangan panas dari kondensor terjadi karena adanya penurunan refrigerant dari kondisi uap lewat jenuh menuju ke uap jenuh, kemudian terjadi proses perubahan fasa refrigerant yaitu dari fasa uap menjadi fasa cair. Jumlah panas yang dilepas di dalam kondensor sama

dengan jumlah panas yang diserap refrigerant di dalam evaporator dengan energi yang diperlukan untuk melakukan kerja kompresi.



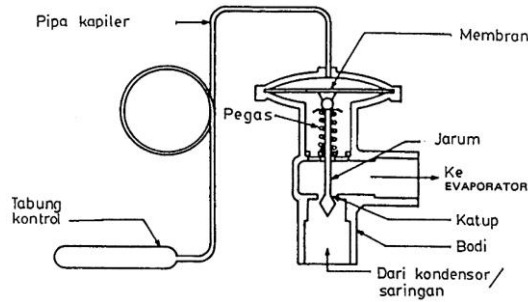
**Gambar 2.3** Kondensor alat pengkondisian udara

(Sumber: Arli Fauzi, 2021)

Pada sebuah kondensor terdiri dari koil pipa pendingin dari tembaga dan bersirip pelat aluminium. Di dalam pipa terdapat udara yang mengalir tegak lurus dengan bidang pendingin. Gas refrigerant yang bertemperatur tinggi masuk ke bagian atas dari koil dan secara berangsur-angsur mencair ke dalam aliran bagian bawah koil.

#### **2.4.3 Katup Expansi**

Komponen utama yang lain untuk mesin refrigerasi adalah katup ekspansi. Katup ekspansi ini digunakan untuk menurunkan tekanan tinggi refrigerant yang keluar dari kondensor dan masih berupa zat cair dan akan merubahnya menjadi bertekanan rendah serta berubah bentuk menjadi gas. Refrigerant cair diinjeksikan keluar melalui *orifice*, refrigerant segera berubah menjadi kabut yang tekanan dan temperaturnya rendah. Selain itu, katup ini juga sebagai alat kontrol refrigerasi yang berfungsi untuk mengatur jumlah refrigerant yang mengalir dari pipa cair menuju evaporator sesuai dengan laju penguapan pada evaporator. Selain itu juga untuk mempertahankan perbedaan tekanan antara kondensor dan evaporator agar penguapan pada evaporator berlangsung pada tekanan kerjanya.

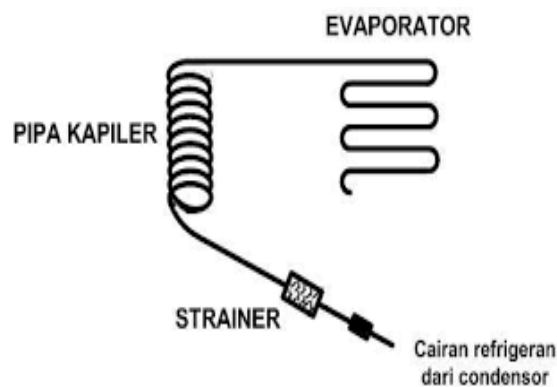


**Gambar 2.4** Katub ekspansi alat pengkondisian udara

(sumber: Wahyu Hidayat. 2018)

Pipa kapiler merupakan salah satu alat ekspansi. Alat ekspansi ini mempunyai dua kegunaan yaitu untuk menurunkan tekanan refrigerant cair dan untuk mengatur aliran refrigerant ke evaporator. Cairan refrigerant memasuki pipa kapiler tersebut dan mengalir sehingga tekanannya berkurang akibat dari gesekan dan percepatan refrigerant. Pipa kapiler pada sistem refrigerasi AC mempunyai ukuran panjang berkisar antara 80-100 cm, dengan diameter dalam 0,5 sampai 2 mm. Diameter dan panjang pipa kapiler ditetapkan berdasarkan kapasitas pendinginan, kondisi operasi dan jumlah refrigerant dari mesin refrigerasi yang bersangkutan.

Konstruksi pipa kapiler sangat sederhana, sehingga jarang terjadi gangguan. Pada waktu kompresor berhenti bekerja, pipa kapiler menghubungkan bagian tekanan tinggi dengan bagian tekanan rendah, sehingga menyamakan tekanannya dan memudahkan start berikutnya.



**Gambar 2.5** Konstruksi pipa kapiler

(sumber: Wahyu Hidayat. 2018)



#### 2.4.4 Evaporator

Evaporator pada sistem alat pengkondisian udara digunakan sebagai penyerap atau penukar kalor serta bertugas menguapkan refrigerant dalam sistem, sebelum dihisap oleh kompresor. Suhu evaporator yang juga dipengaruhi oleh suhu udara disekeliling evaporator juga turun. Temperatur udara yang rendah dipindahkan ketempat lain dengan dihembus oleh kipas yang ada pada evaporator dan menyebabkan terjadinya penghebusan aliran udara sehingga suhu udara di sekeliling evaporator turun.



**Gambar 2.6** Konstruksi Evaporator alat pengkondisian udara

#### 2.5 Komponen Pendukung Alat Pengkondisian Udara

Beberapa komponen-komponen pendukung yang terdapat pada unit alat pengkondisian udara diantaranya adalah sebagai berikut:

##### 2.5.1 Kipas dan motor listrik

Kegunaan sebuah kipas pada adalah untuk mengalirkan udara dalam sistem refrigerasi. Kipas yang sering digunakan dalam sistem alat pengkondisian udara yaitu kipas sentrifugal dan kipas propelar. Kipas sentrifugal diletakkan di dalam ruangan digunakan untuk membantu penyebaran udara dingin pada evaporator di dalam ruangan. Sedangkan kipas propelar diletakkan di luar ruangan tugasnya membuang udara panas pada sisi belakang kondensor alat pengkondisian udara.

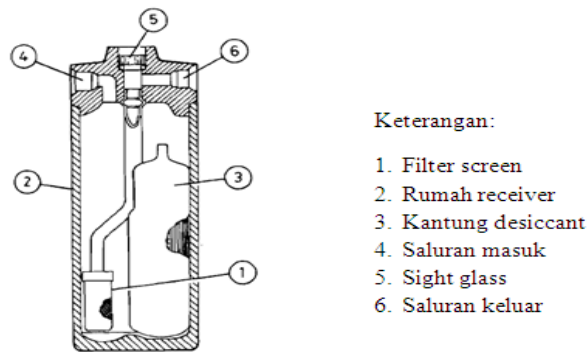


**Gambar 2.7** Kipas propelar dan kipas sentrifugal *air conditioner*

Pada sistem alat pengkondisian udara, motor listrik digunakan sebagai penggerak kompresor, pompa dan kipas. Proses perubahan energi listrik menjadi energi mekanik dilakukan dengan memanfaatkan sifat-sifat gaya magnetik.

### 2.5.2 Receiver

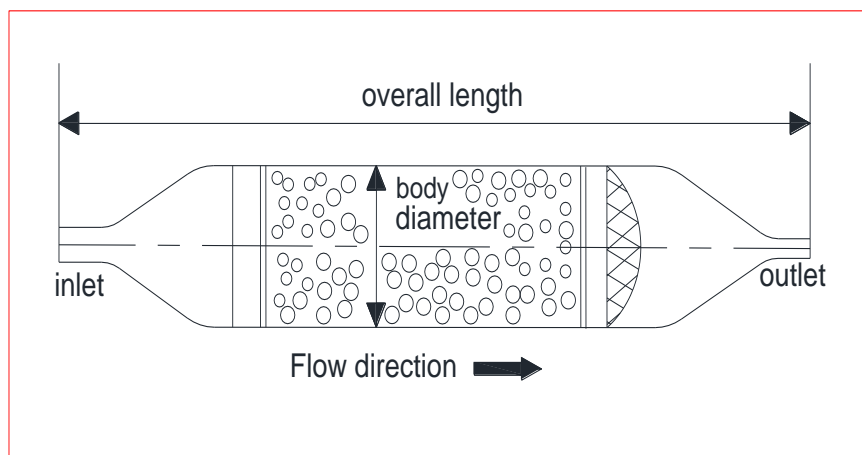
Receiver atau biasa di sebut sebagai tangki penampung berfungsi untuk penampung atau penyimpan refrigerant dalam system pendingin.



**Gambar 2. 8** Konstruksi *Receiver*

### 2.5.3 Drier Strainer

*Drier strainer* atau dikenal dengan penyaring, Terdiri atas silika gel dan screen. Silika gel berfungsi untuk menyerap kotoran, dan screen untuk menyaring kotoran berupa karat dan yang lainnya. Apabila refrigerant terdapat kotoran maka refrigerant tersebut akan tersaring *drier strainer* terlebih dahulu sebelum masuk ke expansion valve, sehingga katup ekspansi tidak rusak dan mengalami kebuntuan.



**Gambar 2.9** Konstruksi *drier strainer*

### 2.5.4 Minyak Pelumas

Minyak pelumas pada alat pengkondisian udara adalah bagian yang harus di kontrol dan diperhatikan, kekurangan pelumas pada alat pengkondisian udara, maupun kulkas akan berakibat memperpendek umur pakai mesin pendingin, khususnya pada kompresor. Minyak pelumas mesin refrigerasi harus memenuhi beberapa persyaratan yakni harus tahan terhadap temperatur tinggi, sesuai dengan temperatur kerja mesin refrigerasi, dan sesuai dengan jenis kompresor yang digunakan.

Pada alat pengkondisian udara minyak pelumas mempunyai fungsi yaitu:

- a. Untuk meredam panas pada bagian kompresor,
- b. Untuk melumasi bagian dalam mesin kompresor agar kompresor tidak cepat aus akibat gesekan yang terjadi selama kompresor menyala,
- c. Membentuk lapisan penyekat untuk menghindari kebocoran kompresi dan menahan hentakan pada kompresor,
- d. Sebagai bahan pembersih,
- e. Agar kerja kompresor menjadi lebih maksimal

### 2.5.5 Komponen Kelistrikan

Komponen kelistrikan pada alat pengkondisian udara terdapat empat bagian diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. *Printed Circuit Board (PCB)* kontrol

Yaitu sebuah rangkaian kelistrikan yang di dalamnya terdapat berbagai macam komponen elektronik seperti resistor, dioda, kapasitor, dan komponen elektronik lainnya.



**Gambar 2.10** PCB kontrol pada alat pengkondisian udara

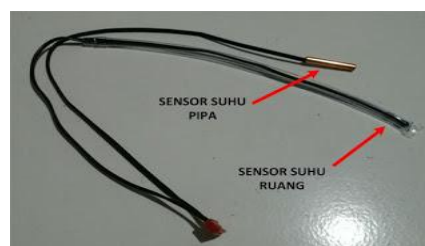
## b. Thermistor

Thermistor merupakan salah satu komponen elektronika yang banyak digunakan terutama pada perangkat yang memerlukan sensor suhu, yaitu untuk mendeteksi perubahan suhu, terutama pada suhu ruangan. Cara kerja dari alat ini adalah jika suatu ruangan sudah mencapai suhu yang sudah ditentukan, maka thermistor akan mengirim signal ke PCB modul untuk memutuskan arus listrik yang ke unit outdoor. Thermistor memiliki dua jenis, untuk lebih jelasnya bisa lihat pada gambar 2.13.

Nama Komponen	Gambar	Simbol
Thermistor PTC		
Thermistor NTC		

**Gambar 2.11** Jenis- jenis thermistor

NTC (*Negative Temperature Coefficient*) yaitu jenis thermistor yang perubahan resistansinya berbanding terbalik dengan perubahan suhu yang diterimanya. Jika suhu besar , maka resistansinya akan menjadi kecil. Dan jika suhunya kecil, maka resistansinya menjadi besar. Sedangkan PTC (*Positive Temperature Coefficient*) adalah jenis thermistor yang perubahan resistansinya sebanding dengan perubahan suhu yang diterimanya. Jika suhu naik, maka resistansinya akan menjadi besar. Jika suhu turun, maka resistansinya menjadi kecil. Jenis Thermistor yang sering digunakan untuk mendeteksi suhu pada alat pengkondisian udara adalah jenis NTC (*Negative Temperature Coefficient*). Pada thermistor alat pengkondisian udara terdapat dua buah yaitu untuk mendeteksi suhu pipa evaporator dan untuk mendeteksi suhu ruangan.



**Gambar 2.12** Thermistor alat pengkondisian udara

### c. *Overload Motor Protektor*

Overload motor protektor adalah sebuah alat pemutus arus menuju kompresor. Komponen ini sangat penting pada sistem pendingin terutama kompresor, kerana sebagai pelindung kompresor jika telah mengalami panas berlebih.



**Gambar 2.13** *Overload Motor Protector*

### d. Kapasitor

Pada umumnya Kapasitor yang digunakan pada alat pengkondisian udara tipe split merupakan kapasitor yang bekerja pada tegangan bolak-balik (*Alternating Current*). Ukuran kapasitas kapasitor yang digunakan pada alat pengkondisian udara tipe split berbeda-beda tergantung dari besar kecilnya daya motor listrik yang digunakan. Satuan kapasitas kapasitor menggunakan satuan mikro farad ( $\mu\text{F}$ ).

Pada unit *outdoor* alat pengkondisian udara terdapat dua buah kapasitor. Satu kapasitor untuk kipas kondensor dan satu lagi untuk kompresor. Kapasitor fan condensor ukurannya antara  $1,5 \mu\text{F}$  hingga  $4 \mu\text{F}$  tergantung dari besar kecilnya motor fan condensornya. Sedangkan untuk kompresor, ukuran kapasitor tergantung dari alat pengkondisian udara yang digunakan apakah 0,5 PK, 1 PK, 1,5 PK, atau 2 PK bisa dilihat di tabel.

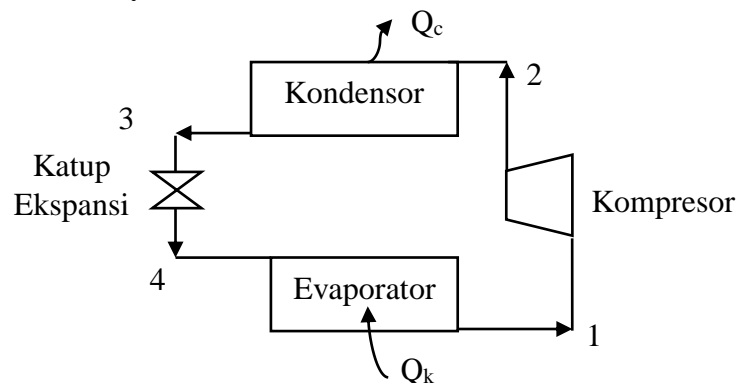
**Tabel 2.1** Ukuran kapasitor untuk alat pengkondisian udara tipe split

No	AC (PK)	KAPASITOR ( $\mu\text{F}$ )
1	1/2	15
2	3/4	15-20
3	1	20-25
4	1 1/2	30-35
5	2	40-60

Kapasitor adalah alat yang berfungsi untuk mempertinggi kopel awal dan mengurangi arus start pada motor kapasitor dan geseran fasa antara kumparan utama dan kumparan bantu lebih dipertajam.

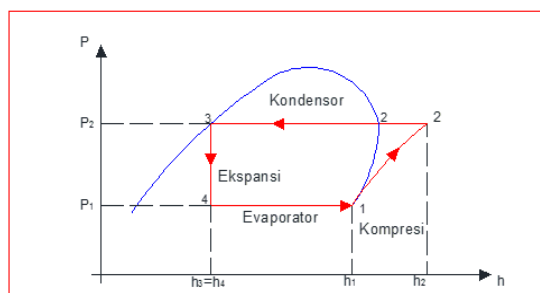
## 2.6 Siklus Kerja Alat Pengkondisian Udara

Proses pengkondisian udara berfungsi untuk mengurangi suhu udara panas dari sebuah ruangan. Ada empat komponen utama dalam sistem pengkondisian udara, dengan siklus kompresi uap yaitu: kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator[10]. Selain itu yang paling penting dalam sistem alat pengkondisian udara adalah refrigerant yang mengalir di dalamnya dimana pada fase awal, refrigerant dalam bentuk cair hingga menyerap panas dari udara hangat yang berada di ruangan tersebut, sehingga mengalami perubahan wujud menjadi uap pada proses evaporasi. Setelah itu uap tersebut dipompa oleh kompresor untuk meningkatkan tekanan sehingga refrigerant yang mengalir di dalamnya berubah lagi menjadi bentuk cair pada saat proses kondensasi. Berikut adalah sistem kerja mesin pendingin pada umumnya:



**Gambar 2.14** Siklus kompresi uap standar

Siklus kompresi uap pada diagram tekanan entalpi ( $p$ - $h$  diagram) mesin pendingin kompresi uap di tunjukan pada gambar sebagai berikut:



**Gambar 2.15** Diagram entalpi siklus kompresi uap standar

a. Proses Kompresi (proses 1-2)

Proses kompresi ini terjadi di titik 1 ke titik 2. Proses kompresi adalah dimana refrigerant ditekan sehingga tekanan dan temperaturnya menjadi tinggi pada saat masuk ke kondensor. Pada siklus ideal proses kompresi berlangsung secara *isentropic*. Karena kondisi awal refrigerant pada saat masuk kompresor adalah gas panas bertekanan rendah tetapi setelah dikompresi refrigerant menjadi gas panas lanjut bertekanan tinggi[10]. Titik 2 adalah kondisi sangat panas, dimana proses kompresi bekerja.

b. Proses Kondensasi (proses 2-3)

Proses ini berlangsung didalam kondensor. Refrigerant yang bertekanan dan bertemperatur tinggi yang berasal dari kompresor akan membuang kalor sehingga fasanya berubah menjadi cair[11]. Pada titik 2 refrigerant pada kondisi uap jenuh pada tekanan dan temperatur kondensasi. Kemudian proses 2-3 terjadi pada tekanan konstan, dan jumlah panas yang dipindahkan selama proses ini memiliki beda entalpi antara titik 2 dan titik 3.

c. Proses Ekspansi (proses 3-4)

Proses ini terjadi pada katup ekspansi, pada proses ini terjadi penurunan tekanan refrigerant dari tekanan kondensasi di titik 3 menjadi tekanan evaporasi di titik 4. Dimana pada titik 4 ini adalah temperatur yang sangat dingin, Penurunan refrigerant dan temperatur kondensor ke evaporator pada kondisi cair diekspansikan melalui pipa kapiler. Proses ekspansi ini berlangsung secara isoentalpi. Hal ini berarti tidak terjadi perubahan entalpi tetapi terjadi penurunan tekanan dan penurunan temperatur[11].

d. Proses Evaporasi (proses 4-1)

Pada proses ini berlangsung secara isobar isothermal (tekanan konstan, temperatur konstan) di dalam evaporator. Panas dari lingkungan akan diserap oleh cairan refrigerant yang bertekanan rendah sehingga refrigerant berubah fasa menjadi uap bertekanan rendah[11]. Kalor yang diserap pada entalpi titik 1 dan titik 4 biasa disebut dengan efek pendinginan. titik 1 adalah refrigerant berada pada kondisi uap jenuh. Proses 4-1 inilah entalpi refrigerant mengalami kenaikan akibat penyerapan kalor dari refrigerasi.

## 2.7 Perpindahan Kalor

Kalor atau panas adalah energi yang berpindah dari suhu tinggi ke suhu rendah. Perpindahan kalor biasanya terjadi karena adanya perbedaan temperatur, yaitu kalor bergerak dari area temperatur yang lebih tinggi menuju area temperatur yang lebih rendah. Perpindahan kalor akan terus terjadi sampai perbedaan temperatur mengalami kesetimbangan temperatur[9].

### 2.7.1 Perpindahan Kalor Secara Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah perpindahan energi panas melalui zat padat yang tidak ikut mengalami perpindahan pada partikel-partikelnya. Adapun contoh peristiwa sederhana yang dapat diambil dari perpindahan kalor secara konduksi adalah ketika sebuah batang logam yang dibakar pada salah satu ujungnya maka lama kelamaan salah satu ujung yang lain akan mulai terasa panas. Adapun contoh lain yang dapat diambil adalah knalpot motor akan terasa panas ketika mesin motor dihidupkan. Perpindahan energi panas atau kalor secara konduksi pada sebuah batangan padat dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut[9]:

$$q = -k \cdot A \frac{\Delta T}{L} \quad (2.1)$$

Keterangan:

k = Konduktivitas termal (W/m.K)

A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur (K)

L = Panjang (m)

Pada persamaan diatas nilai minus (-) menunjukkan bahwa arah kalor selalu berpindah dari area temperatur tinggi menuju area temperatur yang lebih rendah. Konduktivitas thermal adalah pertukaran mikroskopis langsung dari energi kinetik partikel melalui batas antara dua sistem. Ketika suatu objek memiliki temperatur yang berbeda antara benda dengan lingkungan di sekitarnya, maka panas akan mengalir sampai keduanya memiliki temperatur yang sama pada suatu titik kesetimbangan termal.



### 2.7.2 Perpindahan Kalor Secara Konveksi

Perpindahan kalor secara konveksi adalah perpindahan kalor melalui pergerakan massa fluida seperti air atau udara. Perpindahan kalor secara konveksi ini terjadi karena adanya selisih temperatur antara permukaan dengan cairan fluida yang bergerak. sebagai contoh dari peristiwa perpindahan kalor secara konveksi adalah peristiwa memasak air, dimana air bergerak menjauh dari sumber panasnya. Perpindahan kalor secara konveksi terbagi menjadi dua macam, yaitu sebagai berikut[9]:

- a. Konveksi paksa (*forced convection*), yaitu aliran yang terjadi ketika aliran fluida dipaksa mengalir menggunakan kipas, pompa atau alat mekanis lainnya.
- b. Konveksi bebas (*free convection*), yaitu aliran fluida yang terjadi akibat dari adanya gaya apung yang timbul dari perbedaan densitas fluida karena variasi temperatur dalam fluida.

Perpindahan kalor secara konveksi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$q = h.A.(T_s - T_f) \quad (2.2)$$

keterangan:

$h$  = Koefisien konveksi ( W/m<sup>2</sup>.K)

$A$  = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

$T_s$  = Temperatur permukaan (K)

$T_f$  = Temperatur fluida (K)

### 2.7.3 Perpindahan Kalor Secara Radiasi

Perpindahan kalor secara radiasi adalah perpindahan energi yang dilepaskan oleh benda sebagai gelombang elektromagnetik, karena adanya tumpukan energi thermal pada semua benda dengan suhu diatas nol mutlak. Perpindahan kalor secara radiasi dapat terjadi dalam ruang hampa udara tanpa media apapun. perpindahan kalor secara radiasi juga dapat berlangsung jika foton-foton dipancarkan dari suatu permukaan ke permukaan lain. Kemudian setelah dipancarkan dan sampai di permukaan lain maka foton yang diradiasikan juga diserap, dipantulkan dan diteruskan melalui permukaan. Energi yang diradiasikan dari suatu permukaan ditentukan dalam bentuk daya pancar, dan dapat dihitung dengan persamaan[9]:

$$E_B = \sigma T^4 \quad (2.3)$$

Keterangan:

$E_B$  = Daya pancar ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ )

$\sigma$  = Tetapan stefan-Boltzman =  $5,669 \times 10^{-8}$  ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ )

$T$  = Temperatur absolut (K)

#### 2.7.4 Tekanan Uap Jenuh dan Tekanan Uap Air Aktual

Tekanan uap jenuh adalah tekanan yang ditimbulkan oleh uap jenuh. Besarnya tekanan uap jenuh bergantung pada zat dan suhu. Tekanan uap jenuh akan tinggi jika suhu dinaikan[3].

Tekanan uap air jenuh dan tekanan uap air aktual dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$e^\circ(T) = 0,6108 \exp \frac{17,27T}{T + 237,3} \quad (2.4)$$

$$P_v = e^\circ(T_{wet}) - \gamma_{psy} (T - T_{wet}) \quad (2.5)$$

Keterangan:

$P_v$  = Tekanan uap air pada suhu udara (kPa)

$e^\circ(T_{wet})$  = Tekanan uap jenuh pada suhu bola basah (kPa)

$T_{wet}$  = Suhu thermometer bola basah ( $^\circ\text{C}$ )

$T$  = Suhu udara normal ( $^\circ\text{C}$ )

$\gamma_{psy}$  = Konstanta psikometri yang nilainya 0,06738 pada tekanan 1 atm

#### 2.7.5 Kelembaban Spesifik Udara

Kelembaban spesifik udara adalah metode untuk mengukur jumlah uap air di udara dengan rasio terhadap uap air di udara kering. Kelembaban spesifik udara dapat dihitung dengan menggunakan persamaan[3]:

$$\omega = 0,622 \times \frac{P_v}{P_a} \quad (2.6)$$

Tekanan atmosfer udara dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_a = P - P_v \quad (2.7)$$

Entalpi udara sebelum dan sesudah melalui kondensor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$h = T + \omega(2501 + 1,82T) \quad (2.8)$$

Keterangan:

$\omega$  = Kelembaban spesifik udara (Kg)

$P_a$  = Tekanan udara tanpa uap air (kPa)

$P_v$  = Tekanan uap air pada suhu udara (kPa)

$P$  = Tekanan atmosfer (kPa)

$h$  = Entalpi udara (kJ/kg)

### 2.7.6 Volume Spesifik Udara

Banyaknya volume spesifik udara yang keluar dari kondensor alat pengkondisian udara dapat dihitung dengan menggunakan persamaan[3]:

$$V_s = (0,082T + 22,4) \times \left( \frac{1}{29} + \frac{\omega}{18} \right) \quad (2.9)$$

Laju aliran udara dari kondensor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$D_c = V \times A \quad (2.10)$$

Keterangan:

$V_s$  = Volume spesifik udara (m<sup>3</sup>/kg)

$D_c$  = Laju aliran udara (m<sup>3</sup>/s)

$V$  = Kecepatan aliran udara (m/s)

$A$  = Luas penampang saluran udara (m<sup>2</sup>)

$T$  = Suhu udara normal (°C)

### 2.7.7 Laju Aliran Panas

Laju aliran panas yang keluar dari kondensor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan[3]:

$$Q = \frac{Dc}{Vs} \times (h_2 - h_1) \quad (2.11)$$

Keterangan:

Q = Laju aliran panas yang dibuang kondensor (Watt)

$h_1$  = Entalpi udara sebelum mengalami pemanasan pada kondensor (kJ/kg)

$h_2$  = Entalpi udara saat setelah mengalami pemanasan pada kondensor (kJ/kg)

## 2.8 Mekanisme Pengeringan

Mekanisme pengeringan yaitu dengan cara menghembuskan udara panas pada permukaan bahan basah, panas akan berpindah dari kondensor ke permukaan bahan sehingga bahan yang terkena panas perlahan akan mengalami penurunan kadar air, dan Kandungan air bahan uji akan teruapkan. Kemudian Uap air akan berdifusi melalui lapisan udara di sekelilingnya dan terbawa bersama pergerakan udara pengering yang dibantu oleh pergerakan kipas pada kondensor. Karakteristik dari udara pengering yang dibutuhkan untuk keberhasilan proses pengeringan yaitu suhu yang tinggi, kelembaban yang relatif rendah, dan kecepatan udara yang cukup tinggi[3].

### 2.8.1 Kadar Air Bahan

Kadar air bahan adalah jumlah air yang menguap pada pemanasan yang dilakukan dengan suhu dan waktu tertentu. Untuk menentukan kadar air bahan dapat dilakukan dengan berbagai cara diantaranya, dengan cara menimbang material atau bahan pengujian sebelum pengeringan dan sesudah pengeringan dilakukan, kadar air yang didapat dengan cara menghitung selisih berat awal bahan pengujian sebelum dikeringkan dengan berat akhir dari bahan pengujian sesudah dikeringkan. Untuk menentukan kadar air bahan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut[3]:

$$KA = \frac{m_{awal} - m_{akhir}}{m_{awal}} \times 100\% \quad (2.12)$$

Keterangan:

KA = Kadar Air (dalam %)

$m_{\text{awal}}$  = Massa material awal sebelum dikeringkan (kg)

$m_{\text{akhir}}$  = Massa material akhir sesudah dikeringkan (kg)

### 2.8.2 Laju Pengeringan Bahan

Laju pengeringan adalah kecepatan pengeringan yang dilakukan alat terhadap bahan uji (material uji), dapat dihitung dengan persamaan[5]:

$$\dot{m}_d = \frac{m_{\text{awal}} - m_{\text{akhir}}}{t} \quad (2.13)$$

Keterangan:

$\dot{m}_d$  = Laju pengeringan (g/menit)

$m_{\text{awal}}$  = Massa material awal sebelum dikeringkan (kg)

$m_{\text{akhir}}$  = Massa material akhir sesudah dikeringkan (kg)

$t$  = Waktu yang dibutuhkan selama proses pengeringan