

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tekanan Udara

Tekanan udara merupakan suatu tenaga yang bekerja untuk menggerakkan massa udara dalam setiap satuan luas tertentu, tenaga yang menggerakkan massa udara tersebut menekan searah gaya gravitasi bumi. Tekanan udara pada permukaan bumi ditentukan oleh kerapatan massa udara. Semakin rapat udara maka tekanannya semakin tinggi. Tekanan udara merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi dan menentukan kerapatan udara.

Tekanan udara merupakan salah satu faktor yang memengaruhi dan menentukan kerapatan udara selain daripada suhu udara. Pada umumnya makin tinggi suatu ketinggian dari permukaan laut, tekanan udaranya semakin berkurang, karena jumlah molekul dan atom yang ada di atasnya berkurang. Tekanan udara menurun terhadap ketinggian[4].

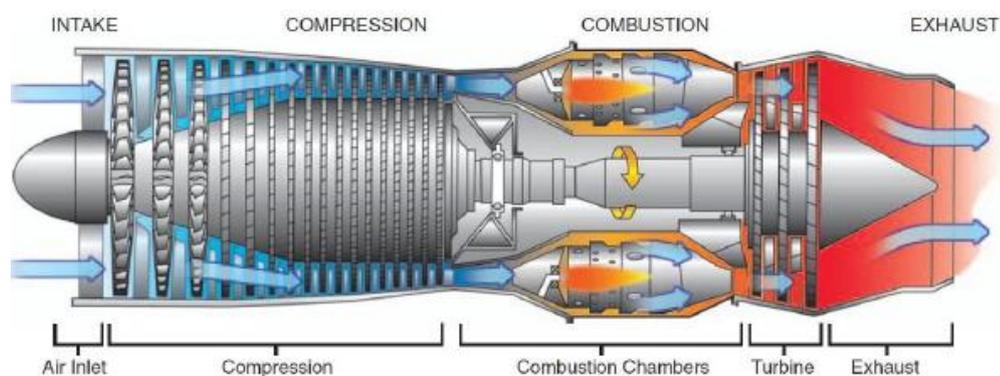
Dalam operasi penerbangan internasional dikenal beberapa satuan tekanan udara, yaitu :

$$\begin{aligned} 1 \text{ atmosfer} &= 1,03329 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 14,696 \text{ Lbs/inch}^2 \text{ (psi)} \\ &= 760 \text{ mmHg} \\ &= 1013,25 \text{ mb} \end{aligned}$$

2.2 Mesin Turbin Gas

Mesin turbin gas adalah suatu mesin penggerak yang memanfaatkan gas sebagai fluida kerja. Di dalam turbin gas energi kinetik dikonversikan menjadi energi mekanik berupa putaran yang menggerakkan roda turbin sehingga menghasilkan daya. Bagian turbin yang berputar disebut rotor turbin dan bagian turbin yang diam disebut stator. Rotor memutar poros daya yang menggerakkan beban (generator listrik, pompa, kompresor atau yang lainnya). Sistem mesin turbin gas yang paling sederhana terdiri dari tiga komponen yaitu kompresor, ruang bakar dan turbin gas.

Pada tahun 1931 Sir Frank Whittle mematenkan mesin turbin gas. Mesin ini terdiri dari kumparan berputar tunggal yang memiliki kompresor dan turbin. Keuntungan mesin ini dibandingkan ramjet adalah mesin turbin gas mampu menopang mesinnya sendiri tanpa memerlukan kecepatan maju. Dengan kata lain, mesin turbin gas dapat dihidupkan dari posisi diam di tanah. Mesin ini dihidupkan dengan memutar kompresor. Putaran kompresor akan membentuk aliran udara ke belakang di ruang pembakaran dan bahan bakar ditambahkan di ruang tersebut[5].



Gambar 2. 1 Mesin Turbin Gas

Pada gambar 2.1 gas meningkatkan suhu sampai ke area belakang mesin. Sebelum gas mencapai *Exhaust Nozzle*, sebagian energinya digunakan untuk memutar turbin yang juga akan menggerakkan kompresor. Untuk meningkatkan *Thrust* mesin turbin gas, bahan bakar ditambahkan yang akan meningkatkan energi aliran gas. Oleh karena itu turbin akan memutar dengan kecepatan yang lebih tinggi sehingga kompresor juga akan berputar pada kecepatan yang lebih tinggi juga. Kompresor akan memberikan massa yang lebih besar daripada udara sehingga *Thrust* akan bertambah. Hal ini sesuai dengan Hukum 2 Newton.

Siklus kerja mesin turbin gas mirip dengan mesin piston 4 tak karena pada setiap mesin turbin gas terdapat induksi, kompresi, pembakaran, dan pembuangan. Pembakaran pada mesin piston terjadi secara intermiten sedangkan pada mesin turbin gas, pembakaran terjadi secara terus menerus.

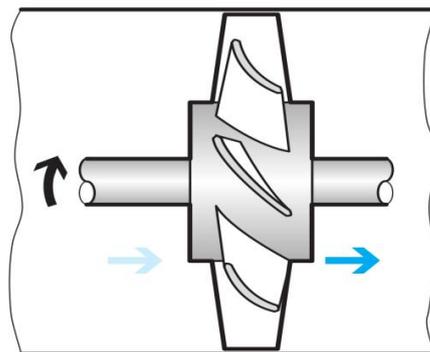
Secara umum proses yang terjadi pada suatu sistem mesin turbin gas adalah sebagai berikut :

1. Pemampatan (*Compression*), udara dari luar akan dihisap dan dimampatkan untuk masuk ke dalam mesin turbin gas. Udara diperlukan pada proses pembakaran.
2. Pembakaran (*Combustion*), pada proses ini bahan bakar dicampurkan dengan udara ke dalam ruang bakar.
3. Pemuaiian (*Expansion*), gas hasil pembakaran memuai dan mengalir ke luar melalui *Nozzle*.
4. Pembuangan (*Exhaust*), gas hasil pembakaran dikeluarkan lewat saluran pembuangan.

2.2.1 Kompresor

Setiap mesin turbin gas memiliki kompresor. Komponen ini berguna agar mesin turbin gas dapat bekerja secara berkelanjutan. Jenis kompresor biasanya memengaruhi bentuk dari mesin turbin gas. Terdapat 3 jenis kompresor, yaitu :

1. Jenis kompresor pertama yang ditunjukkan pada gambar 2.2 adalah kompresor aksial, arah aliran pada kompresor ini adalah sejajar dengan poros. Kompresor aksial terdiri dari beberapa tingkatan, tiap tingkatan terdiri dari rotor dan stator. Rotor dan stator harus dipasang berpasangan pada bilah-bilahnya.



Gambar 2. 2 Kompresor Aksial

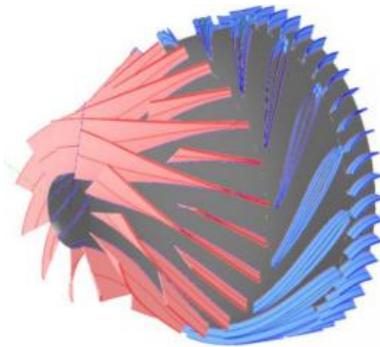
Awalnya udara akan berakselerasi pada saat mengalir melewati setiap tingkatan. Hasilnya dari proses ini energi kinetik diubah menjadi tekanan pada setiap tingkatan.

2. Kompresor Radial, aliran udara akan mengalir ke dalam kompresor dengan arah aksial seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3, kemudian akan dialirkan sesuai bentuk kompresor tegak lurus terhadap poros oleh gaya sentrifugal. Oleh karena itu kompresor radial disebut juga sebagai kompresor sentrifugal.



Gambar 2. 3 Kompresor Radial

3. Jenis kompresor terakhir yang ditunjukkan pada gambar 2.4 adalah kompresor diagonal, kompresor ini merupakan gabungan dari kompresor aksial dan radial. Kompresor diagonal juga disebut sebagai *Mix Flow Compressor*. Kelebihan dari kompresor diagonal adalah kompresor ini memiliki diameter *Exit Diffuser* yang lebih kecil dibandingkan kompresor sentrifugal/radial.



Gambar 2. 4 Kompresor Diagonal

2.2.2 Turbin

Turbin dapat digambarkan sebagai kompresor yang bekerja secara terbalik. Turbin mengubah tekanan menjadi daya pada poros yang digunakan untuk memutar kompresor. Sama halnya seperti kompresor, turbin juga memiliki tingkatan-tingkatan. Saat udara mencapai turbin terlebih dahulu udara akan melewati *Stator* yang mana akan mengubah tekanan menjadi energi kinetik. Saat udara melewati *Stator*, udara berakselerasi ke arah putaran dari *Rotor*. Hasilnya akan menghasilkan gaya yang kuat untuk memutar bilah *Rotor*, dan mengakibatkan dorongan torsi.

2.2.3 Ruang Bakar

Ruang bakar adalah tempat terjadinya pencampuran antara bahan bakar dan udara yang kemudian akan dibakar untuk menghasilkan energi kalor. Hasil dari pembakaran tersebut akan dialirkan ke turbin. Proses pembakaran ini terjadi di ruang tertutup yang dirancang sedemikian rupa agar proses pembakaran dapat terlaksana secara optimal.

2.3 Gaya Dorong

gaya dorong atau *Thrust* adalah gaya mekanis yang menggerakkan pesawat di udara. *Thrust* dihasilkan melalui reaksi percepatan massa gas. *Thrust* dibutuhkan untuk mengatasi *Drag* atau hambatan udara dan mempertahankan kecepatan pesawat[6]. *Thrust* yang konstan diperlukan untuk menambah ketinggian dan mengurangi ketinggian pesawat dengan kecepatan yang konstan.

Di pesawat, *Thrust* dihasilkan dengan cara yang berbeda berdasarkan tipe propulsinya.

1. Turbojet, semua *Thrust* dihasilkan dalam bentuk *Jet Efflux* dari bagian belakang mesin.
2. Turbofan, sebagian besar *Thrust* dihasilkan oleh *Fan* di bagian depan mesin. Sebagian kecil dihasilkan oleh *Jet Efflux*.
3. Turboprop, sebagian besar *Thrust* dihasilkan oleh baling-baling. Sebagian kecil dihasilkan oleh *Jet Efflux*.

4. Piston, semua *Thrust* dihasilkan oleh baling-baling.

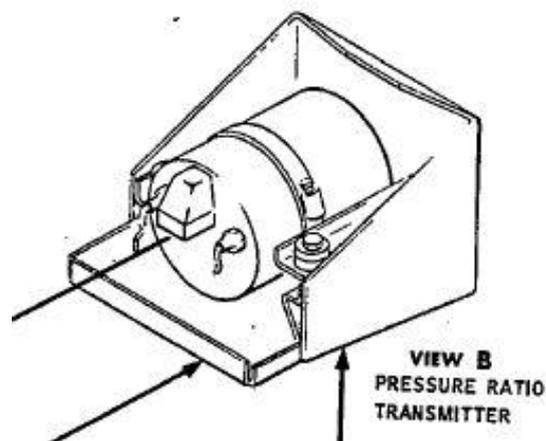
2.4 Engine Pressure Ratio System

Engine Pressure Ratio (EPR) adalah rasio total pada mesin pesawat yang diukur dengan membandingkan antara tekanan *Outlet* dan tekanan *Inlet* pada mesin pesawat. EPR sendiri menjadi indikasi primer yang ditampilkan pada sebuah indikator yang terletak di *Flight Compartment* pesawat. Untuk menentukan nilai dari EPR, tekanan akan dideteksi dan ditentukan nilainya oleh *Probe* yang terpasang di bagian *Inlet* dan *Outlet* dari mesin pesawat[7].

Sistem *Engine Pressure Ratio* (EPR) terdiri dari *Pressure Ratio Transmitter*, indikator, *Inlet Pressure Sensing Probe*, dan *Six Turbine Exhaust Probe*.

2.4.1 Pressure Ratio Transmitter

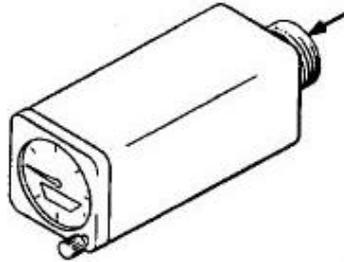
Pressure Ratio Transmitter terletak di kompartemen aksesoris belakang pesawat, komponen ini berfungsi mengukur tekanan *Inlet* dan *Exhaust* serta menghitung rasio tekanan yang digunakan untuk mendapatkan efisiensi operasi maksimum dari mesin pesawat. Bentuk dari *Pressure Ratio Transmitter* dapat dilihat pada gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2. 5 Pressure Ratio Transmitter

2.4.2 Pressure Ratio Indicator

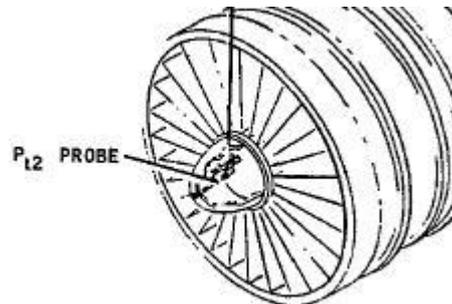
Pressure Ratio Indicator terpasang di *Flight Compartment*. Indikator ini menunjukkan nilai rasio antara tekanan inlet dan tekanan *Exhaust*. Indikator ini terdiri dari *Receiver Synchro Dial*, *Adjustable Index*, *Tug Counter*, dan *External Set Knob* yang dapat dilihat pada gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2. 6 *Pressure Ratio Indicator*

2.4.3 Inlet Pressure Sensing Probe (Pt2)

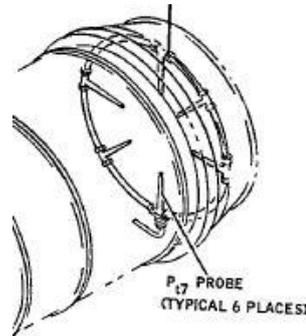
Pt2 dipasang di *Inlet Bullet* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7 yang berfungsi mendeteksi tekanan inlet total. *Probe* menonjol melalui bagian depan dari *Inlet Bullet* dan dapat dilepas sebagai satu unit.



Gambar 2. 7 *Inlet Pressure Sensing Probe*

2.4.4 Six Turbine Exhaust Probe (Pt7)

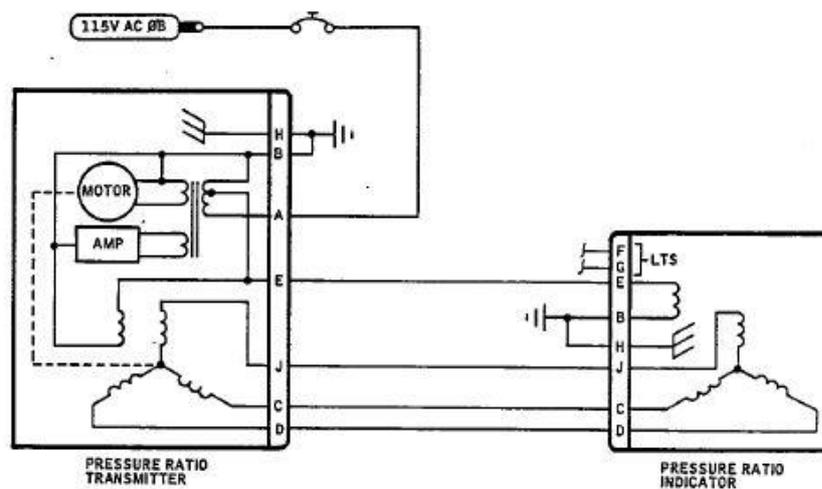
Pt7 dipasang di *Engine Turbine Discharge Case* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8 . Pt7 berfungsi mendeteksi tekanan total di *Primary Exhaust*. *Probe* disambungkan bersama oleh *Manifold*. Sambungan eksternal tunggal untuk *Manifold* disediakan di samping mesin.



Gambar 2. 8 Six Turbine Exhaust Probe (Pt7)

2.4.5 Sistem Operasi EPR

Pada kondisi statis tidak ada gaya yang diberikan pada *Transmitter* Pt2 atau Pt7. *Force Balance Sensing Unit* dan jangkar transformator *Differential* berada dalam posisi nol atau seimbang antara dua kumparan medan transformer. EPR mulai bekerja saat *Electrical Buses* pesawat diberi dihidupkan dan tekanan tersedia. Tekanan *Inlet* dan tekanan *Exhaust* memberikan gaya pada *Aneroid Bellows* Pt2 dan Pt7. Gaya ini ketika ditransmisikan melalui *Force Balance Sensing Unit* akan mengontrol jangkar transformator *Differential*. Pada Gambar 2.9 di bawah ini dapat dilihat lebih jelas secara visual mengenai sistem operasi EPR.



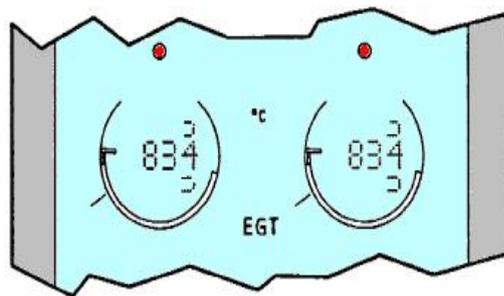
Gambar 2. 9 Skematik Sistem Operasi EPR

2.5 EGT (*Exhaust Gas Temperature*)

EGT adalah suatu indikator udara gas buang hasil dari ruang pembakaran pada mesin pesawat. Sistem ini sangat penting untuk pesawat terbang pada saat *Take Off* karena dapat menjaga suhu agar tidak melewati batas dan terjadi hal yang tidak diinginkan. Terdapat beberapa komponen seperti *EGT indicator*, *Balancing Resistor*, dan *Thermocouple Probes*. *EGT Indicator* terletak di bagian tengah *Flight Compartment* tepatnya pada bagian EICAS/ECAM.

2.5.1 EGT *Indicator*

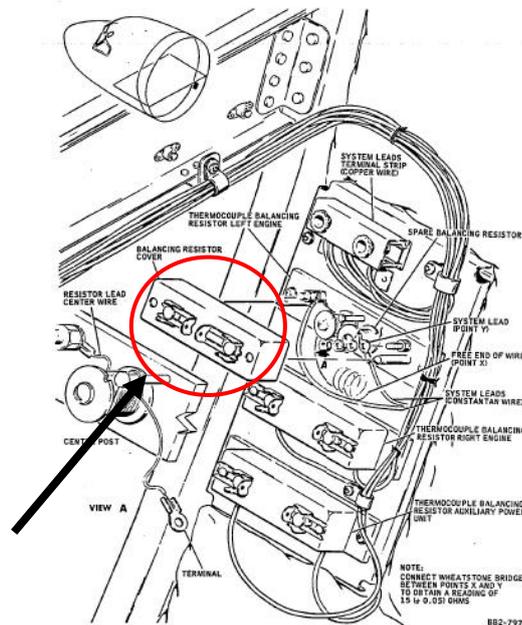
Pada *EGT Indicator* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10, *Thermocouple* dengan bahan *Chromel Alumel* dapat merasakan ataupun merespon tegangan yang ada pada bagian keluaran *Engine* dengan rentang suhu - 50°C hingga 1150°C.



Gambar 2. 10 EGT Indikator di EICAS

2.5.2 *Balancing Resistor*

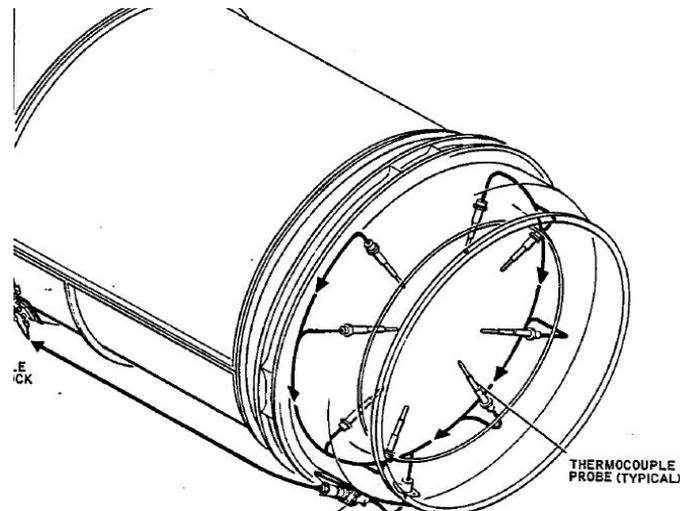
Di pesawat *Balancing Resistor* yang dapat dilihat pada gambar 2.11 ini terletak pada bagian kargo depan tepatnya ada panel di sisi sebelah kanan. Pada *Balancing Resistor* terdiri dari dua gulungan kawat dengan masing-masing memberikan tegangan maksimum sebesar 8 ohm. Agar ketika dikalibrasi dapat seimbang (*Balance*) dari resistansi sistem total. Satu kawat dipasang pada sirkuit yang konstan dan di *Trim*, satu kawat lainnya berfungsi sebagai cadangan.



Gambar 2. 11 Letak *Balancing Resistor*

2.5.3 *Thermocouple Probes*

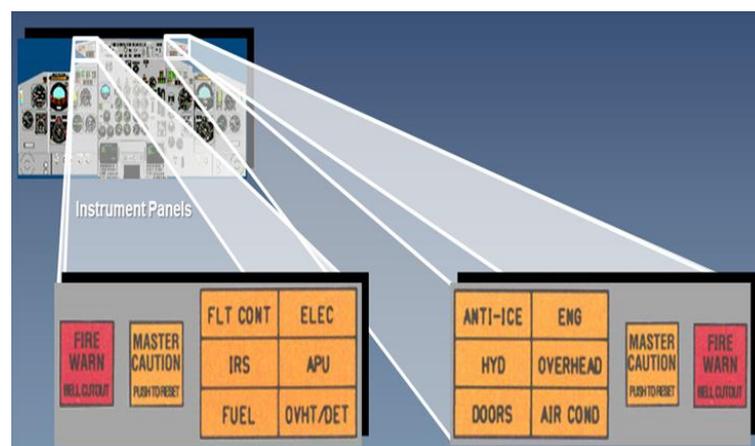
Pada bagian ini terletak pada jalur gas buang seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7 yang difungsikan sebagai sensor pada suatu mesin pesawat. Fungsi dari rangkaian *Thermocouple* tergantung pada perbedaan sambungan dan perbedaan suhu antara *Hot Junction* dan *Cold Junction*. *Hot Junction* yaitu terletak pada bagian yang akan diukur suhu panasnya di *Engine* sedangkan *Cold Junction* terletak di *Cockpit EGT Indicator*. Di pesawat jumlah *Thermocouple* tergantung pada jenis dan spesifikasi dari mesin atau pesawat itu sendiri contohnya pada pesawat Boeing berjumlah 6 atau 9 *Thermocouple Probes* sedangkan di pesawat DC 9 berjumlah 8 *Thermocouple Probes*.



Gambar 2. 12 Letak *Thermocouples Probes*

2.6 Warning System Pada Pesawat

Warning System atau sistem peringatan pada pesawat merupakan suatu penanda bagi kru pesawat bahwa telah terjadi kerusakan pada suatu sistem. Pada pesawat terdapat dua indikator peringatan utama yang dapat dilihat pada gambar 2.13 dan 2.14, apabila terjadi kerusakan ditandai dengan *Ember Light (Master Caution)* dan *Red Light (Fire Warning)* yang terletak di *Cockpit Captain Side* dan *Co-Pilot Side*.



Gambar 2. 13 Letak *Master Caution* dan *Fire Warning*

Apabila lampu indikator *Master Caution* menyala maka sesuatu telah terjadi pada sistem. Lampu ini tetap menyala selama ada gangguan pada sistem atau sampai kru menekan tombol reset pada lampu tersebut. *Master Caution* juga mencakup beberapa peringatan sebagai isyarat atau penanda (*Annunciator Panel*) misalnya telah terjadi gangguan sistem pada *Overheat Temperature*, *Anti Ice*, *Doors*, dll. Apabila lampu indikator *Fire Warning* menyala maka telah terjadi kebakaran pada mesin pesawat.



Gambar 2. 14 *Master Caution* dan *Fire Warning*

2.7 Catu Daya

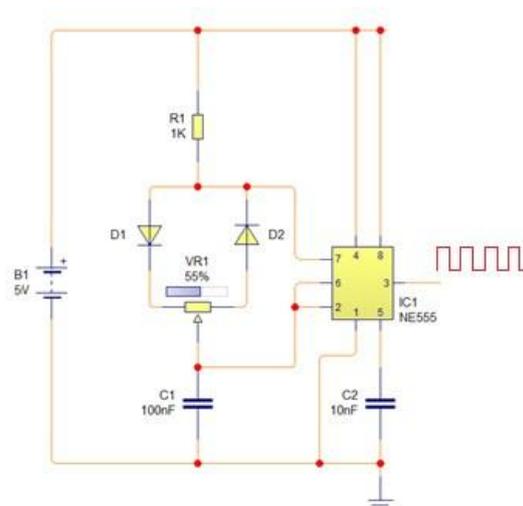
Catu daya merupakan hal yang sangat penting dan berpengaruh pada pengoperasian suatu alat atau modul. Terdapat banyak sekali variasi catu daya berdasarkan tujuan penggunaannya. Pada dasarnya untuk komponen elektronika digunakan catu daya +5V DC dan +12V DC/10A yang dapat dilihat pada gambar 2.15. Hal tersebut dikarenakan alat atau modul yang digunakan mayoritas mempunyai konsumsi tegangan +5V DC dan +12V DC. Konsumsi tegangan +5V DC biasanya digunakan oleh komponen *Transistor- Transistor Logic* (TTL). Sedangkan penggunaan catu daya +12 V biasanya digunakan oleh alat atau komponen elektronika secara umum.



Gambar 2. 15 Catu Daya 12V/10A

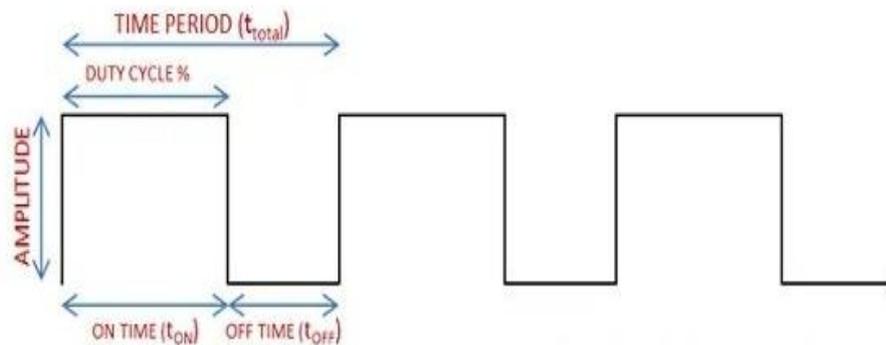
2.8 Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation atau dalam bahasa Indonesia disebut juga modulator lebar pulsa merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengendalikan rangkaian analog dengan mikroprosesor keluaran digital. Secara spesifik, PWM digunakan dengan tujuan memanipulasi tebal sinyal dengan amplitudo dan frekuensi yang tetap. Lebar pulsa PWM diatur berbanding lurus dengan nilai amplitudo. Hal tersebut memiliki arti lain bahwa sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap. IC digital seperti IC 7485 dan IC timer 555 dapat digunakan untuk membangkitkan sinyal PWM. Rangkaian sederhana pembangkit sinyal PWM menggunakan IC tersebut dapat dilihat pada gambar 2.16 di bawah ini.



Gambar 2. 16 Rangkaian PWM Sederhana

Lama waktu PWM menyala dapat ditentukan dengan cara mengendalikan siklus kerja (*Duty Cycle*) dari PWM. Pada saat PWM dalam kondisi menyala, *Duty Cycle* memiliki nilai 100%. Sedangkan pada saat PWM dalam kondisi mati, *Duty Cycle* memiliki nilai 0%. Visualisasi siklus kerja dari PWM dapat dilihat pada gambar 2.17 di bawah ini.



Gambar 2. 17 Siklus Kerja PWM

2.9 Potensiometer

Potensiometer seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.18 adalah perangkat komponen elektronika bagian dari sebuah resistor yang memiliki tiga terminal dengan sambungan yang membentuk pembagi tegangan yang dapat di setel. Jika anda menemukan potensiometer yang menggunakan dua terminal tetap masih bisa digunakan dengan cara salah satu dari terminal tetap dan terminal geser. Komponen elektronika ini berperan sebagai resistor variabel atau Rheostat. Prinsip kerja potensiometer dapat kita anggap sebagai gabungan dari dua buah resistor yang kita hubungkan seri (R_1 dan R_2).Tapi dalam dua buah resistor yang kita pakai nilai resistansinya dapat diubah. Resistansi total dari sebuah resistor akan selalu tetap dan nilai ini merupakan nilai resistansi potensiometer (Variabel Resistor). Jika nilai resistansi dari resistor 1 diperbesar dengan cara memutar bagian potensiometer, maka otomatis nilai resistansi dari resistor 2 akan berkurang, begitu juga sebaliknya.



Gambar 2. 18 Potensiometer

2.10 Motor *Brushless* DC

Motor BLDC merupakan jenis motor *Synchronous*. Hal ini berarti bahwa medan magnet yang dihasilkan oleh stator dan medan magnet yang dihasilkan oleh rotor berputar pada frekuensi yang sama. Motor BLDC tidak mengalami selip yang biasanya terlihat pada motor induksi. Terdapat dua komponen utama pembentuk motor BLDC, yaitu Stator dan Rotor.

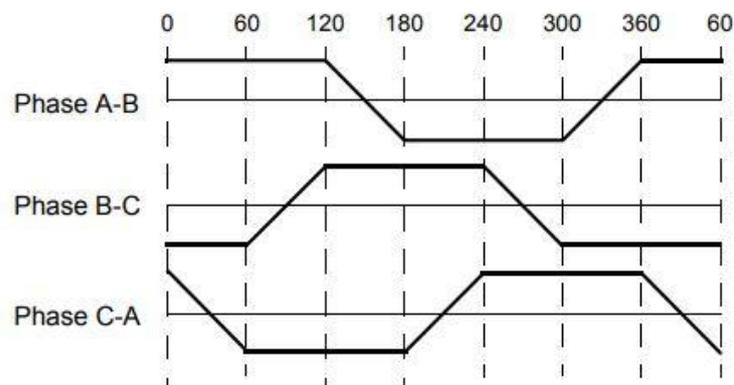
2.10.1 Stator

Stator merupakan bagian yang diam atau statis yang fungsinya sebagai medan putar motor untuk memberikan gaya elektromagnetik pada rotor sehingga motor dapat berputar. Stator pada Motor BLDC terdiri dari baja bertumpuk yang dilaminasi dengan gulungan yang terletak pada slot yang dipotong secara aksial di sepanjang pinggiran bagian dalam seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.19. Stator menyerupai motor induksi namun, gulungannya terdistribusi dengan cara yang berbeda. Mayoritas motor BLDC memiliki tiga gulungan stator yang terhubung dalam konfigurasi bintang. Setiap gulungan ini dibentuk dengan banyak gulungan yang saling berhubungan sehingga membentuk lilitan.

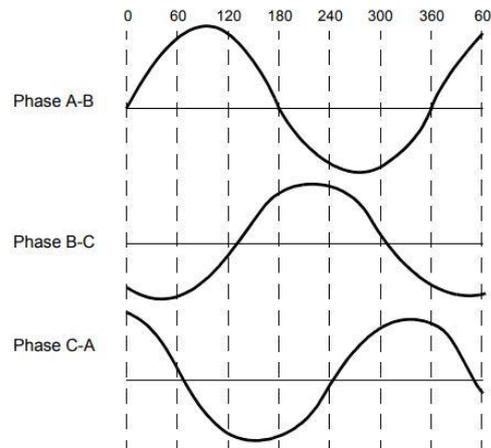


Gambar 2. 19 Stator

Terdapat 2 jenis lilitan pada stator yaitu, trapesium dan sinusoidal. Perbedaan ini dibuat atas dasar interkoneksi lilitan di gulungan stator untuk memberikan berbagai jenis *Back Electromotive Force* (EMF) atau gaya gerak listrik balik. Jenis yang pertama adalah *Trapezoidal Motor*, seperti namanya motor ini memberikan *Back EMF* dalam mode *Trapezoidal* dan *Sinusoidal Motor* memberikan *Back EMF* dalam mode *Sinusoidal* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.20 dan 2.21. Selain *Back EMF*, fase arus juga memiliki variasi *Trapezoidal* dan *Sinusoidal* pada masing-masing jenis motor. Torsi output pada *Sinusoidal Motor* lebih halus daripada *Trapezoidal Motor* tetapi *Sinusoidal Motor* membutuhkan gulungan yang lebih banyak karena distribusi lilitan pada pinggiran stator meningkatkan penggunaan tembaga oleh lilitan stator.



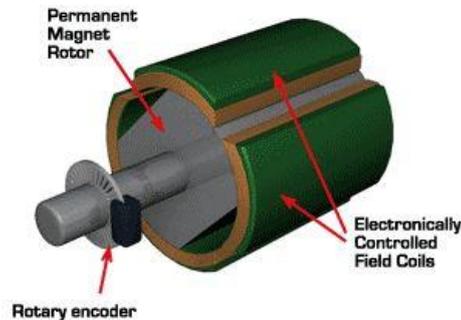
Gambar 2. 20 *Trapezoidal Back EMF*



Gambar 2. 21 *Sinusoidal Back EMF*

2.10.2 Rotor

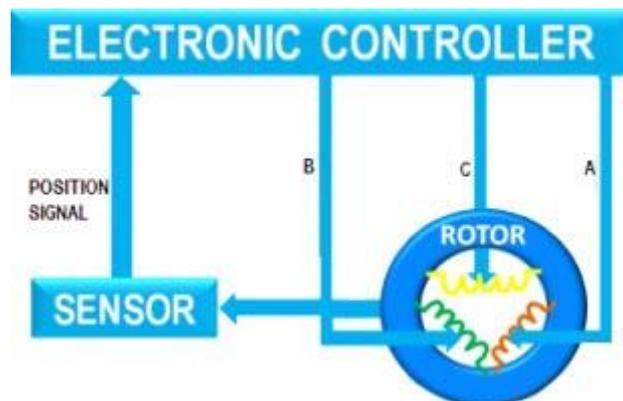
Rotor seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.22 adalah bagian motor yang bergerak karena adanya gaya elektromagnetik dari stator. Rotor terbuat dari magnet permanen dan dapat bervariasi dari dua hingga delapan pasang kutub utara dan kutub selatan. Berdasarkan kerapatan medan magnet yang dibutuhkan pada rotor, bahan magnetik yang tepat dipilih untuk membuat rotor. Magnet ferit digunakan untuk membuat magnet permanen. Seiring perkembangan teknologi, bahan campuran menjadi pilihan terbaru. Biaya yang dikeluarkan untuk penggunaan Magnet ferit lebih murah tetapi memiliki kelemahan kerapatan fluks yang rendah untuk volume tertentu. Sebaliknya, bahan campuran memiliki kerapatan magnet yang lebih tinggi per volume dan memberikan torsi yang lebih tinggi untuk motor. Neodymium (Nd), Samarium Cobalt (SmCo), dan paduan Neodymium, Ferite dan Boron (NdFeB) adalah beberapa contoh bahan campuran.



Gambar 2. 22 Rotor

2.10.3 Sensor Hall

Tidak seperti Motor DC *Brushes*, sistem komutasi Motor BLDC dikendalikan secara elektronik karena lilitan kawat pada stator harus dinyalakan-dimatikan secara berurutan dan teratur. Oleh karena itu dibutuhkan sensor yang dapat memberikan informasi secara presisi kepada kontroler untuk mengatur lilitan mana yang harus dialiri arus listrik. Posisi rotor dideteksi menggunakan sensor efek Hall yang diaplikasikan ke dalam stator. Sebagian besar Motor BLDC memiliki tiga sensor Hall yang tertanam pada stator.



Gambar 2. 23 Skematik sederhana Motor BLDC

Motor BLDC menggunakan tiga sensor Hall yang dipasang dengan jarak 120° pada stator untuk mendeteksi bagian rotor mana yang akan terkena oleh fluks magnet. Sensor Hall merupakan sebuah transduser yang menghasilkan tegangan

bervariasi ketika terjadi perbedaan medan magnet. Pada gambar 2.23 dapat dilihat bahwa ketika rotor berputar, perubahan besar medan magnet antara magnet permanen dan gaya elektromagnetik dari lilitan kawat akan dideteksi oleh sensor Hall sebagai input kontroler. Sehingga proses komutasi dapat berjalan secara simultan dan kontinyu.

2.11 Elemen Pemanas

Elemen pemanas (*Heater*) merupakan suatu komponen yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi panas, biasanya menggunakan bahan yang tahan terhadap listrik tinggi misalnya *Resistance Wire*, dan *Aluminium* agar tidak rusak ataupun meleleh pada saat dialiri panas serta dilapisi oleh isolator yang dapat meneruskan panas sehingga aman digunakan. Dalam hal ini penulis menggunakan elemen pemanas DC 12V seperti pada gambar 2.24 yang akan terhubung ke modul PWM *Controller* sehingga pada saat motor dihidupkan pemanas dapat diatur secara manual.



Gambar 2. 24 Elemen Pemanas

2.12 Sensor

Sensor adalah perangkat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan besaran fisik seperti tekanan, gaya, besaran listrik, cahaya, gerakan, kelembaban, suhu, kecepatan dan fenomena-fenomena lingkungan lainnya. Setelah mengamati terjadinya perubahan, Input yang terdeteksi tersebut akan dikonversi menjadi Output yang dapat dimengerti oleh manusia baik melalui perangkat sensor itu

sendiri ataupun ditransmisikan secara elektronik melalui jaringan untuk ditampilkan atau diolah menjadi informasi yang bermanfaat bagi penggunanya.

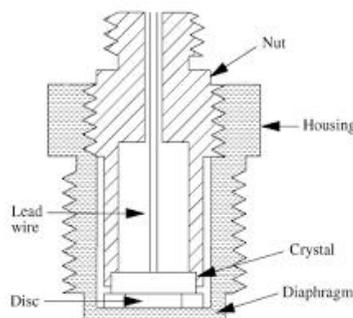
Sensor pada dasarnya dapat digolong sebagai Transduser Input karena dapat mengubah energi fisik seperti cahaya, tekanan, gerakan, suhu atau energi fisik lainnya menjadi sinyal listrik ataupun resistansi (yang kemudian dikonversikan lagi ke tegangan atau sinyal listrik).

2.12.1 *Pressure Transducer*

Pressure Transducer yang ditunjukkan pada gambar 2.25 adalah alat yang mengukur tekanan suatu fluida, menunjukkan gaya yang diberikan fluida pada permukaan yang bersentuhan dengan *Pressure Transducer* ini. Alat ini banyak digunakan di banyak aplikasi kontrol dan pemantauan seperti pada aliran, kecepatan udara, sistem pompa, dan juga ketinggian. *Pressure Transducer* berisi diafragma yang berfungsi mengumpulkan gaya dan elemen transduksi yang mengubah deformasi ini menjadi sinyal listrik seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.25.



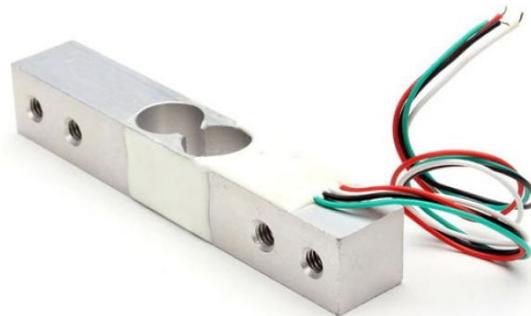
Gambar 2. 25 *Pressure Transducer*



Gambar 2. 26 *Pressure Transducer Design*

2.12.2 Load Cell

Load Cell seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.27 merupakan sensor yang dirancang untuk mendeteksi tekanan atau berat sebuah beban. Pada umumnya, *Load Cell* digunakan untuk dijadikan sebagai komponen utama pada sistem timbangan digital. Ketika terdapat beban yang menekan *Load Cell*, hal ini akan mengakibatkan reaksi terhadap elemen logam pada *Load Cell* yang mengakibatkan gaya secara elastis. Gaya yang ditimbulkan oleh peregangan ini dikonversi ke dalam sinyal elektrik oleh *Strain Gauge* (pengukur regangan) yang terpasang pada *Load Cell*. *Strain Gauge* adalah sebuah konduktor yang diatur sedemikian rupa dan terdapat pada permukaan *Membrane*. Ketika terjadi peregangan *Membrane*, maka resistansinya akan meningkat. *Strain Gauge* berfungsi sebagai sensor untuk mengukur berat benda atau tekanan dalam ukuran besar.

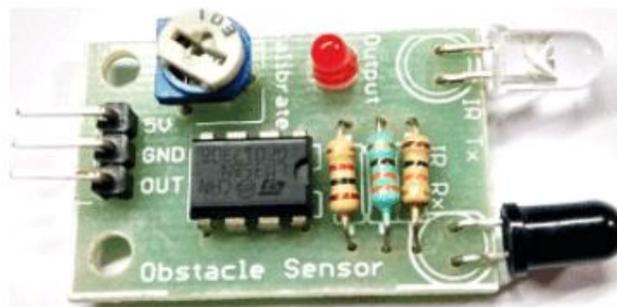


Gambar 2. 27 *Load Cell*

2.12.3 Modul Sensor *Infra Red* (IR)

Sensor IR digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi dari *Fan* dalam bentuk RPM. Seperti yang dapat dilihat dari gambar 2.28 modul sensor IR terdiri dari IR *Transmitter* dan *Receiver*, *Op-amp*, resistor variabel, dan LED. LED IR memancarkan cahaya dengan frekuensi infra merah. Cahaya IR tidak terlihat oleh manusia karena panjang gelombangnya yang sepanjang 700 nm – 1 mm jauh lebih tinggi daripada rentang cahaya yang terlihat oleh manusia. LED IR memiliki sudut pancaran cahaya kira-kira 20-60 derajat. LED IR berwarna putih atau transparan, sehingga dapat memberikan jumlah cahaya maksimal. *Photodiode*

bertindak sebagai penerima IR sebagai konduktor ketika cahaya jatuh di atasnya. Photodiode adalah semikonduktor yang memiliki persimpangan P-N yang dioperasikan dalam *Reverse Bias*, artinya mulai mengalirkan arus dengan arah terbalik ketika cahaya jatuh di atasnya, dan jumlah aliran arus sebanding dengan jumlah cahaya. LM358 adalah penguat operasional (Op-Amp) yang digunakan sebagai pembanding tegangan pada sensor IR. Komparator akan membandingkan tegangan ambang batas menggunakan preset dan tegangan resistor seri fotodiode dan resistor variabel yang digunakan pada modul sensor IR ini adalah preset.



Gambar 2. 28 Modul Sensor IR

2.12.4 Thermocouple

Thermocouple merupakan suatu sensor komponen elektronika yang berfungsi untuk mengukur suhu/temperatur dengan cara kedua sisi disatukan agar terjadi efek *Thermoelectric*. Komponen ini juga memiliki kelebihan lain selain kemampuannya merespon perubahan suhu dengan cepat dan suhu pengukurannya yang luas antara -200°C hingga 2000°C juga tahan terhadap getaran dan penggunaannya sangat mudah sehingga mudah diaplikasikan ke berbagai komponen.

Cara kerjanya yaitu di kedua sisi ujung logam yang jenisnya berbeda *Hot Junction* dan *Cold Junction* digabungkan. Masing-masing sisi ujung logam tersebut memiliki peranan sendiri salah satunya akan difungsikan untuk menjadi referensi suhu yang konstan sedangkan sisi yang lainnya untuk mendeteksi suhu panas. Dapat di lihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 29 Cara Kerja Thermocouple

Pada gambar 2.29 di atas, jika *Thermocouple* dipanaskan dapat menyebabkan beda potensial. Perbedaan tersebut sebanding dengan suhu panas yang diterima *Thermocouple* atau $V_1 - V_2$. *Thermocouple* kemudian dihubungkan dengan *Thermocontroller* sebagai *Display* dari suhu yang dapat kita baca.

Thermocouple terdiri dari beberapa macam jenis dan spesifikasi. Berikut ini adalah beberapa jenis dan spesifikasi pada *Thermocouple* :

- *Thermocouple* Tipe E

Material positif yang digunakan	:	<i>Nickel Chromium</i>
Material negatif yang digunakan	:	<i>Constantan</i>
Kapasitas Pengukuran suhu	:	-200°C hingga 900°C

- *Thermocouple* Tipe J

Material positif yang digunakan	:	<i>Iron</i>
Material negatif yang digunakan	:	<i>Constantan</i>
Kapasitas Pengukuran suhu	:	0°C hingga 750°C

- *Thermocouple* Tipe K

Material positif yang digunakan	:	<i>Nickel Chromium</i>
Material negatif yang digunakan	:	<i>Nickel Aluminium</i>
Kapasitas Pengukuran suhu	:	-200°C hingga 1250°C

- *Thermocouple* Tipe N

Material positif yang digunakan	:	<i>Nicrosil</i>
Material negatif yang digunakan	:	<i>Nisil</i>

- Kapasitas Pengukuran suhu : 0°C hingga 1250°C
- *Thermocouple* Tipe T
 - Material positif yang digunakan : *Copper*
 - Material negatif yang digunakan : *Constantan*
 - Kapasitas Pengukuran suhu : -200°C hingga 350°C
 - *Thermocouple* Tipe U
 - Material positif yang digunakan : *Copper*
 - Material negatif yang digunakan : *Copper Nickel*
 - Kapasitas Pengukuran suhu : 0°C hingga 1450°C

Dalam hal ini penulis menggunakan jenis *Thermocouple* tipe K (gambar 2.30) dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 2.1 di bawah ini.



Gambar 2. 30 *Thermocouple* Tipe K

Tabel 2. 1 Spesifikasi *Thermocouple* Tipe K

Tegangan: 3V - 5V
Fitur: Dilengkapi rangkaian kompensasi dan cold junction
Output Data: SPI
Kapasitas Pengukuran Suhu: 0°C - 800°C
Akurasi Suhu: 0.25°C

2.13 Modul Sensor MAX6675

Modul Sensor MAX6675 seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.31 merupakan modul yang kompatibel sebagai kompensasi *Cold Junction* dari *Thermocouple* tipe K karena sesuai dengan karakteristiknya. Modul ini juga memiliki rentang pengukuran suhu antara -200°-1200°C. Spesifikasi dari modul ini dapat dilihat pada tabel 2.3 di bawah ini.



Gambar 2. 31 Modul Sensor MAX6675

Tabel 2. 2 Spesifikasi Modul Sensor MAX6675

<i>Operating Voltage : 5 VDC</i>
<i>Operating Current : 50mA</i>
<i>Temperature Measuring Range : -200°C - 1200°C</i>
<i>Best Temperature Measurement : 0°C - 800°C</i>
<i>Temperature Measurement Accuracy : ±1.5°C</i>
<i>Temperature Resolution : 0.25°C</i>
<i>Output : SPI Digital Signal</i>
<i>Easy Installation</i>
<i>Storage Temperature : -50°C - 150°C</i>

2.14 Modul DSN-VC288

Pada dasarnya alat pengukuran listrik dibedakan menjadi dua jenis, yakni digital dan analog. Modul DSN-VC288 merupakan modul voltmeter dan ammeter digital yang digunakan untuk mempermudah pembacaan nilai tegangan dan arus listrik karena hasil ukur yang ditampilkan adalah hasil yang sudah sesuai tanpa perlu dilakukan perhitungan ulang. Nilai tegangan dan arus listrik akan langsung ditampilkan pada layar modul ini ketika tegangan dan arus terdeteksi. Dapat dilihat pada gambar 2.32 di bawah ini bahwa nilai tegangan listrik akan ditampilkan pada bagian atas sedangkan nilai arus listrik ditampilkan pada bagian bawah.



Gambar 2. 32 Modul DSN-VC288

Tabel 2. 3 Spesifikasi DSN-VC288

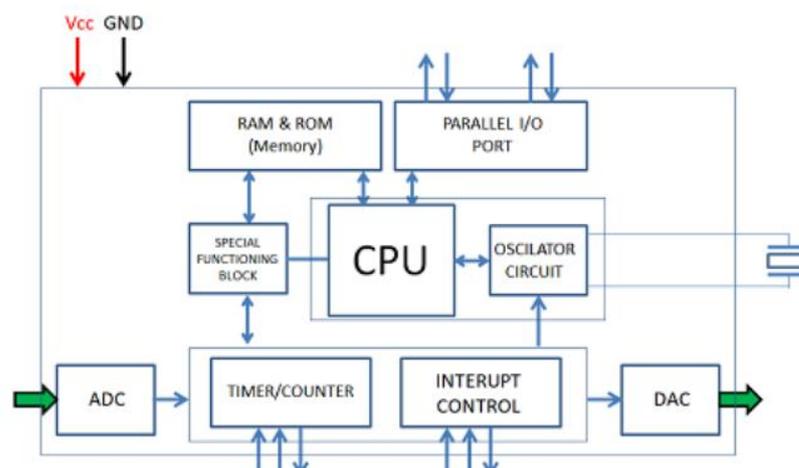
Spesifikasi	Keterangan
Pengukuran tegangan	0.0V – 100V Max
Pengukuran arus	0 – 999mA, 0 – 10mA, 0 – 50mA, 0 – 100mA
Sumber Listrik	4.5V ~ 24V
Arus Kerja	< 20mA
Kesalahan Tegangan	±0.1%
Kesalahan Arus	±1%
<i>External Shunt</i>	75mV
<i>Refresh Rate</i>	300mS
<i>Display Method</i>	2 by 3, 0.28 “7-seg LED
Warna Layar	Merah = V, Biru = A
<i>Lead Length</i>	15cm
Dimensi	L=48 x H=29 x T=22 mm
Lubang Pemasangan	46 x 27 mm
Temperatur Pengoperasian	-10°C ~ 65°C

Tabel 2.3 di atas menunjukkan spesifikasi lengkap dari modul DSN-VC288. Perlu diperhatikan pada saat penggunaan modul ini agar sumber listrik yang digunakan tidak melebihi batas *Range* yang telah ditentukan oleh pabrik, apabila tegangan yang digunakan melebihi batas maka dapat mengakibatkan modul terbakar.

2.15 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah komputer kecil yang dikemas dalam bentuk chip IC (Integrated Circuit) dan dirancang untuk melakukan tugas atau operasi tertentu. Pada dasarnya, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.33 sebuah IC Mikrokontroler terdiri dari satu atau lebih Inti Prosesor (CPU), Memori (RAM dan ROM) serta perangkat INPUT dan OUTPUT yang dapat diprogram.

Penggunaan Mikrokontroler ini semakin populer karena kemampuannya yang dapat mengurangi ukuran dan biaya pada suatu produk atau desain apabila dibandingkan dengan desain yang dibangun dengan menggunakan mikroprosesor dengan memori dan perangkat input dan output secara terpisah.



Gambar 2. 33 Diagram Blok Mikrokontroler

2.15.1 Mikrokontroler ATmega328P

ATmega328 adalah mikrokontroler keluaran Atmel yang merupakan anggota dari keluarga AVR 8-bit. Mikrokontroler ini memiliki kapasitas flash (program memory) sebesar 32 Kb (32.768 bytes), memori (static RAM) 2 Kb (2.048 bytes), dan EEPROM (non-volatile memory) sebesar 1024 bytes. Kecepatan maksimum yang dapat dicapai adalah 20 MHz. Rancangan khusus dari keluarga prosesor ini memungkinkan tercapainya kecepatan eksekusi hingga 1 cycle per instruksi untuk sebagian besar instruksinya, sehingga dapat dicapai kecepatan mendekati 20 juta instruksi per detik. ATmega328 adalah prosesor yang kaya fitur. Dalam chip yang dipaketkan dalam bentuk DIP-28 ini terdapat 20

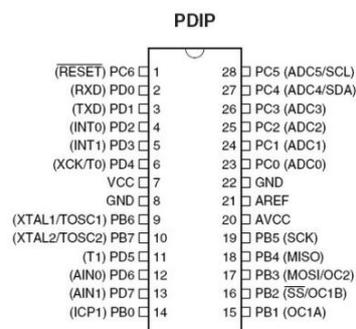
pin Input/Output (21 pin bila pin reset tidak digunakan, 23 pin bila tidak menggunakan osilator eksternal), dengan 6 diantaranya dapat berfungsi sebagai pin ADC (analog-to-digital converter), dan 6 lainnya memiliki fungsi PWM (pulse width modulation).



Gambar 2. 34 IC ATmega328P

IC Atmega328 yang ditunjukkan pada gambar 2.34 dan gambar 2.35 memiliki 28 pin yang masing-masing pinnya memiliki fungsi yang berbeda-beda. 28 pin tersebut adalah sebagai berikut :

1. VCC
2. Ground
3. Port B (PB7...PB0)
4. Port C (PC5...PC0)
5. Reset/PC6
6. Port D (PD7...PD0)
7. Avcc
8. AREF

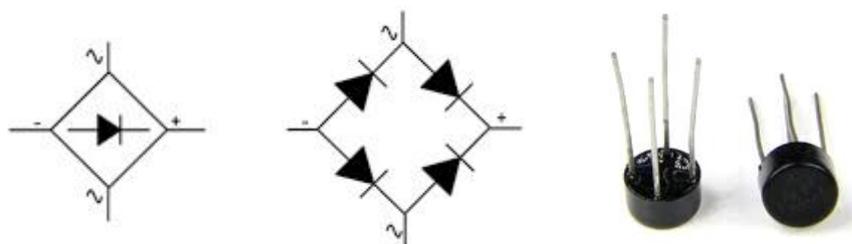


Gambar 2. 35 Konfigurasi Atmega328P

2.16 Dioda *Bridge*

Dioda *Bridge* (*Bridge Diode*) atau dalam bahasa Indonesia disebut dengan dioda Jembatan adalah jenis dioda yang berfungsi sebagai penyearah arus bolak-balik (Alternating Current/AC) menjadi arus searah (Direct Current/DC). Dioda *Bridge* pada dasarnya merupakan susunan dari empat buah Dioda seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.36 yang dirangkai dalam konfigurasi rangkaian jembatan (*Bridge*) yang dikemas menjadi satu perangkat komponen yang berkaki empat. Dua kaki Terminal dipergunakan sebagai Input untuk tegangan/arus listrik AC (bolak balik) sedangkan dua kaki terminalnya lagi adalah terminal Output yaitu Terminal Output Positif (+) dan Terminal Output Negatif (-).

Konfigurasi rangkaian dioda *Bridge* ini dapat menghasilkan polaritas atau arah yang sama pada Output dari kedua polaritas Input yang bolak-balik. Tentunya, sama seperti dioda pada umumnya, dioda *Bridge* juga terbuat dari bahan semikonduktor. Dioda *Bridge* atau dioda Jembatan ini biasanya tersedia dalam bentuk Single In Line (SIL) dan Dual In Line (DIL). Dioda *Bridge* yang merupakan komponen untuk penyearah gelombang penuh (full wave rectifier) ini adalah penyearah yang sering digunakan dalam rangkaian Pencatu Daya (Power Supply) karena kinerjanya yang lebih baik dengan ukuran yang lebih kecil dan juga biaya yang relatif murah dibanding dengan penyearah gelombang penuh yang dihubungkan dengan transformator center tap (trafo CT).



Gambar 2. 36 Dioda Bridge

2.17 Modul I2C

Modul I2C ke LCD adalah komponen dengan protokol komunikasi serial Inter-Integrated Circuit (I2C) yang digunakan untuk menjalankan modul LCD 16x2 dan 20x4. Komponen yang ditunjukkan pada gambar 2.37 ini biasa digunakan untuk mengeliminasi kebutuhan tambahan kabel sambungan yang terhubung satu komponen ke mikrokontroler dari 6-7 seperti LCD bahkan 127 komponen secara bersamaan menjadi 4 kabel. Kabel-kabel tersebut adalah 5V DC, Ground, Serial Clock (SCL), digunakan untuk menyinkronkan komunikasi data pada I2C Bus dan Serial Data (SDA), digunakan untuk mengirimkan data in line yang menjadi informasi utama yang disampaikan dari master ke slave serta sebaliknya juga. Pada Arduino Uno, SDA terhubung pada pin A4 dan SCL pada A5 dengan address 0x27 kondisi normal.



Gambar 2. 37 Modul I2C

2.18 Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid Crystal Display (LCD) yang dapat dilihat pada gambar 2.38 adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair (*Liquid Crystal*) untuk menghasilkan gambar yang terlihat. Teknologi LCD ini memungkinkan produk-produk elektronik dibuat menjadi jauh lebih tipis jika dibanding dengan teknologi tabung sinar katoda (*Cathode Ray Tube* atau CRT). Jika dibandingkan dengan teknologi CRT, LCD juga jauh lebih hemat dalam mengonsumsi daya karena LCD bekerja berdasarkan prinsip pemblokiran cahaya sedangkan CRT berdasarkan prinsip pemancaran cahaya. Namun LCD membutuhkan lampu backlight (cahaya latar belakang) sebagai cahaya pendukung karena LCD sendiri tidak memancarkan cahaya. Beberapa jenis backlight yang umum digunakan

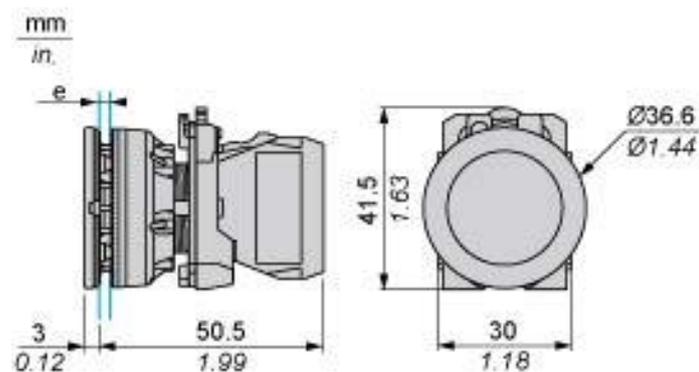
untuk LCD diantaranya adalah backlight CCFL (Cold cathode fluorescent lamps) dan backlight LED (Light-emitting diodes).



Gambar 2. 38 *Liquid Crystal Display (LCD)*

2.19 Pilot Lamp

Pilot Lamp merupakan salah satu indikator yang sering digunakan pada panel. Pada umumnya, *Pilot Lamp* digunakan untuk memberikan indikasi apakah terdapat aliran listrik yang mengalir pada suatu panel. Jika terdapat aliran listrik pada suatu panel maka *Pilot Lamp* akan menyala untuk memberikan indikasi. *Pilot Lamp* juga tersedia dalam berbagai ukuran mulai dari 22 mm, 25 mm, 30 mm, dan 30,5 mm. Spesifikasi ukuran *Pilot Lamp* dapat dilihat pada gambar 2.39 di bawah ini.



Gambar 2. 39 *Pilot Lamp*

2.20 Buzzer

Buzzer seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.40 adalah komponen elektronika yang dapat menghasilkan getaran suara berupa gelombang bunyi. *Buzzer* akan menghasilkan getaran suara ketika diberikan sejumlah tegangan listrik dengan nilai tertentu sesuai dengan spesifikasi bentuk dan ukuran *Buzzer* itu sendiri. Pada umumnya, *Buzzer* yang merupakan sebuah perangkat audio ini sering digunakan pada rangkaian anti-maling, Alarm pada Jam Tangan, Bel Rumah, peringatan mundur pada Truk dan perangkat peringatan bahaya lainnya. Jenis *Buzzer* yang sering ditemukan dan digunakan adalah *Buzzer* yang berjenis Piezoelectric, hal ini dikarenakan *Buzzer* Piezoelectric memiliki berbagai kelebihan seperti lebih murah, relatif lebih ringan dan lebih mudah dalam menggabungkannya ke Rangkaian Elektronika lainnya. *Buzzer* yang termasuk dalam keluarga Transduser ini juga sering disebut dengan *Beeper*. Efek Piezoelectric (Piezoelectric Effect) pertama kali ditemukan oleh dua orang fisikawan Perancis yang bernama Pierre Curie dan Jacques Curie pada tahun 1880. Penemuan tersebut kemudian dikembangkan oleh sebuah perusahaan Jepang menjadi *Piezo Electric Buzzer* dan mulai populer digunakan sejak 1970-an.



Gambar 2. 40 *Buzzer*

Tegangan listrik yang diberikan ke bahan Piezoelectric akan menyebabkan gerakan mekanis, gerakan tersebut kemudian diubah menjadi suara atau bunyi yang dapat didengar oleh telinga manusia dengan menggunakan diafragma dan resonator. Piezo Buzzer dapat bekerja dengan baik dalam menghasilkan frekuensi di kisaran 1 – 5 kHz hingga 100 kHz untuk aplikasi Ultrasound. Tegangan Operasional Piezoelectric Buzzer yang umum biasanya berkisar di antara 3v-12v.

