

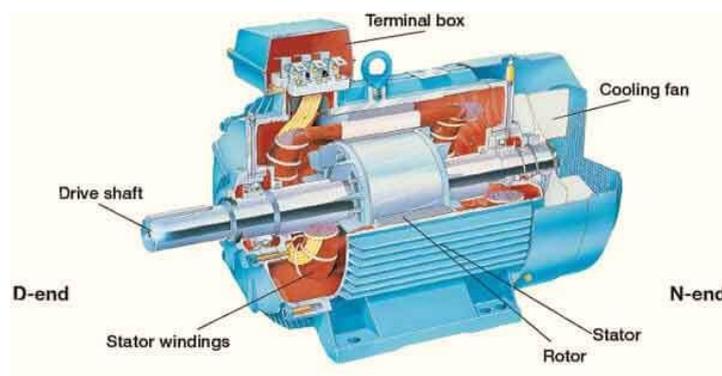
BAB II

TEORI DASAR

2.1. Motor Induksi

Motor listrik berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Motor listrik terdiri dari dua bagian utama yaitu stator atau bagian yang diam dan rotor atau bagian berputar [8]. Pada motor AC, kumparan rotor tidak menerima energi listrik secara langsung, tetapi secara prinsip induksi elektromagnetik seperti yang terjadi pada kumparan transformator. Oleh karena itu motor AC dikenal dengan motor induksi. Dilihat dari kesederhanaannya, konstruksinya yang kuat, dan kokoh serta mempunyai karakteristik kerja yang baik, motor induksi 3 fasa yang tepat dan paling banyak digunakan dalam bidang industri [15].

Motor induksi sebagai penggerak mula (*prime over*) pada pengoperasiannya sering melayani beban yang bervariasi [1]. Motor induksi menggunakan prinsip induksi elektromagnetik, dimana gaya gerak listrik diinduksi dan melintasi konduktor listriknya ketika medan magnet berputar [8]. Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (ac) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator. Bentuk dan konstruksi motor tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1 [16].



Gambar 2. 1 Kontruksi motor induksi.

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri atas dua bagian, yaitu bagian stator dan bagian rotor. Stator adalah bagian motor yang diam dan terdiri atas badan motor, inti stator, belitan stator, bearing dan terminal box. Bagian rotor adalah bagian motor yang berputar dan terdiri atas rotor sangkar, poros rotor. Pada motor induksi tidak ada bagian rotor yang bersentuhan dengan bagian stator. Stator dan rotor dipisahkan oleh air gap [17]. Konstruksi motor induksi lebih sederhana dibandingkan dengan motor DC, dikarenakan tidak ada komutator dan sikat arang sehingga pemeliharaan motor induksi hanya bagian mekanik saja.

Prinsip kerja motor listrik pada dasarnya sama untuk semua jenis motor secara umum [8]:

1. Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya
2. Sebuah kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/loop, maka kedua sisi loop, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
3. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/*torque* untuk memutar kumparan
4. Motor-motor memiliki beberapa *loop* pada dinamonya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan. Dalam memahami sebuah motor, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor listrik. Beban mengacu kepada keluaran tenaga putar/*torque* sesuai dengan kecepatan yang diperlukan.

2.1.2. Jenis-jenis Motor Induksi

Motor induksi adalah motor listrik arus bolak-balik yang paling luas diaplikasikan dalam dunia industri dan juga dalam rumah tangga. Berikut adalah jenis-jenis motor induksi:

A. Motor Induksi 1 Fasa

Motor induksi satu fasa adalah satu jenis dari motor-motor listrik yang bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik. Motor induksi memiliki sebuah sumber energi listrik yaitu disisi stator, sedangkan sistem kelistrikan disisi rotornya di induksikan melalui celah udara dari stator dengan media elektromagnetik [2]. Konstruksi motor induksi satu fasa terdiri atas dua komponen

yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian dari motor yang tidak bergerak dan rotor adalah bagian yang bergerak yang bertumpu pada bantalan poros terhadap stator [6]. Motor induksi terdiri atas kumparan stator dan kumparan rotor yang berfungsi membangkitkan gaya gerak listrik akibat dari adanya arus listrik bolak-balik satu fasa yang melewati kumparan-kumparan tersebut sehingga terjadi suatu interaksi induksi medan magnet antara stator dan rotor.

Motor induksi satu fasa tidak terjadi medan magnet putar seperti halnya motor induksi tiga fasa, sehingga diperlukan suatu kumparan bantu untuk mengawali berputar. Motor induksi satu fasa memiliki dua belitan stator, yaitu belitan fasa utama (belitan U1-U2) dan belitan fasa bantu (belitan Z1-Z2) [2].

B. Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi tiga fasa adalah alat listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, dimana listrik yang diubah adalah listrik tiga fasa. Motor induksi sering juga disebut motor asinkron. Motor induksi 3 fasa banyak digunakan untuk menggerakkan peralatan-peralatan di industri. Hal ini karena motor induksi 3 fasa memiliki konstruksi yang sederhana, harga yang lebih murah dan mudah dalam perawatannya. Pada dasarnya, motor induksi 3 fasa memiliki kecepatan yang konstan saat keadaan tidak berbeban (*zero/no-load*) maupun beban penuh (*full-load*). Kecepatan motor induksi 3 fasa tergantung pada frekuensi kerjanya sehingga sulit untuk mengatur kecepatannya. Meskipun begitu, peralatan pengatur frekuensi (*variable frequency electronic drive*) semakin banyak digunakan untuk mengatur kecepatan motor induksi [17].

Motor induksi tiga fasa adalah salah satu jenis motor listrik yang banyak dipakai di industri di bandingkan motor listrik lainnya (motor dc) karena konstruksinya sederhana dan perawatan mudah [18]. Dalam aplikasinya motor induksi untuk memiliki nilai *harmonic* yang tinggi terutama dioperasikan tanpa beban. Namun penyebab *harmonic* pada motor induksi tidak hanya induktansi motor itu sendiri bisa juga disebabkan oleh *switching inverter* dan sumber yang menghasilkan bentuk gelombang sinusoida yang cacat. Inverter dapat dikendalikan dengan beberapa metode yaitu *Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)*, *scalar*

control, dan yang saat ini di teliti yaitu dengan metode *Space Vector Pulse Width Modulation* (SVPWM)[18].

2.1.3. Karakteristik Motor Induksi

Motor induksi 1 fasa merupakan salah satu jenis motor listrik yang paling umum digunakan dalam berbagai aplikasi rumah tangga dan industri. Karakteristik khas dari motor induksi 1 fasa mencakup penggunaan pasokan listrik fasa tunggal dengan hanya dua kawat, yaitu satu kawat untuk fase (biasanya berwarna hitam atau merah) dan satu kawat netral (biasanya berwarna putih) [19].

Motor ini membutuhkan dorongan atau awal tertentu untuk memulai putaran rotor dan umumnya menggunakan komponen eksternal seperti kapasitor atau starter untuk memulai operasinya. Meskipun memiliki efisiensi yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan motor induksi 3 fasa, motor induksi 1 fasa lebih murah dan lebih mudah diimplementasikan dalam aplikasi rumah tangga atau kecil karena memerlukan pasokan listrik fasa tunggal yang umum tersedia. Salah satu kekurangan utamanya adalah torsi awal yang rendah, yang dapat menyebabkan kesulitan untuk memulai beban berat atau inersia tinggi. Meskipun memiliki struktur yang sederhana dan perawatan yang relatif mudah, motor ini cenderung memiliki masa pakai yang lebih pendek dan memerlukan perawatan lebih sering dibandingkan dengan motor induksi 3 fasa [20].

Aplikasi umum dari motor induksi 1 fasa termasuk kipas angin, pompa air, kompresor kecil, penggerak alat-alat rumah tangga seperti mesin cuci, penggerak mesin gergaji kecil, dan peralatan lain yang membutuhkan daya listrik fasa tunggal. Daya keluaran motor induksi 1 fasa berkisar dari beberapa watt hingga beberapa kilowatt, tergantung pada ukuran dan aplikasinya. Meskipun memiliki beberapa keterbatasan dalam hal torsi awal dan efisiensi dibandingkan dengan motor induksi 3 fasa, namun keunggulannya dalam hal biaya dan kemudahan pemasangan membuatnya tetap menjadi pilihan yang populer dalam aplikasi-aplikasi tertentu. Motor ini juga memiliki ukuran yang relatif kecil, sehingga dapat ditempatkan dengan mudah dalam aplikasi yang memiliki batasan ruang [6].

2.1.4. *Insulation Class*

Insulation Class merupakan suatu pembagian kelas pada motor induksi tergantung pada ketahanan kinerja motor pada temperatur/temperatur tertentu. Biasanya sebelum motor dihidupkan maka temperatur motor akan sama dengan temperatur sekitarnya atau yang biasanya disebut *Ambient Temperature* (Temperatur Ruang). NEMA menetapkan bahwa temperatur ruangan yang dipakai sekitar 40° Celcius. Setelah motor dijalankan, maka temperatur dalam lilitan motor akan meningkat yang disebut *Rise Temperature* (Peningkatan Temperatur). Bagian lilitan motor tersebut yang dapat bertemperatur lebih tinggi biasanya disebut *Hot Spot* [21].

- *Ambient Temperature* adalah temperatur motor dimana motor belum dioperasikan maka temperatur motor tersebut sama dengan temperatur sekitarnya atau temperatur ruangan (*Ambient Temperature*). NEMA memberi standar untuk temperatur ruangan adalah 40°C.
- *Rise Temperature* merupakan saat temperatur motor dioperasikan maka akan terjadi peningkatan temperatur pada lilitan atau winding motor tersebut, hal ini disebut peningkatan temperatur (*rise temperature*).
- *Hot Spot* adalah titik terpanas yang terdapat ditengah lilitan yang disebut *hot spot* atau titik terpanas yang terdapat pada gulungan elektro motor.

Berdasarkan standar *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA) membagi *Insulation Class* pada motor menjadi 4 jenis, antara lain: [17], [21].

1. *Insulation Class A*

Pada motor dengan *insulation class A* temperatur operasional maksimum yang diperbolehkan adalah sekitar 105°C. Sedangkan peningkatan temperatur yang diperbolehkan saat terjadi beban puncak ialah 60°C pada service factor 1,0 atau 70°C pada service factor 1,15. Pada saat tersebut *Hot Spot* bertambah temperaturnya sekitar 5°C.

2. *Insulation Class B*

Pada Motor dengan *insulation class B* temperatur operasional maksimum yang diperbolehkan adalah sekitar 130°C. Sedangkan peningkatan temperatur yang diperbolehkan saat terjadi beban puncak ialah 80°C pada service factor

1,0 atau 90°C pada *service factor* 1,15. Pada saat tersebut *Hot Spot* bertambah temperaturnya sekitar 10°C.

3. *Insulation Class F*

Pada Motor dengan *insulation class F* temperatur operasional maksimum yang diperbolehkan adalah sekitar 155°C. Sedangkan peningkatan temperatur yang diperbolehkan saat terjadi beban puncak ialah 105°C pada *service factor* 1,0 atau 115°C pada *service factor* 1,15. Pada saat tersebut *Hot Spot* bertambah temperaturnya sekitar 10°C.

4. *Insulation Class H*

Pada Motor dengan *insulation class H* temperatur operasional maksimum yang diperbolehkan adalah sekitar 180°C. Sedangkan peningkatan temperatur yang diperbolehkan saat terjadi beban puncak ialah 120°C pada *service factor* 1,0. Pada saat tersebut *Hot Spot* bertambah temperaturnya sekitar 15°C, dapat dilihat pada Tabel 2.1 *Insulation Class*.

Tabel 2. 1 *Insulation class*.

<i>Class</i>	<i>Maximum Ambient Temperature (°C)</i>	<i>Maximum Temperature Rise (°C)</i>	<i>Hotspot Over Temperature (°C)</i>	<i>Maximum Winding Temperature (Tmax) (°C)</i>
A	40	60	5	105
B	40	80	10	130
F	40	105	10	155
H	40	125	15	180

2.2. Sistem Kendali

Sistem kendali atau sistem kontrol (*Control system*) adalah suatu alat (kumpulan alat) untuk mengendalikan, memerintah dan mengatur keadaan dari suatu sistem. Istilah-istilah dari sistem kendali atau sistem kontrol adalah [22]:

Plants. *Plant* dapat berupa suatu peralatan atau suatu kelengkapan dari perangkat mesin yang bekerja bersama untuk mengerjakan suatu tujuan tertentu.

Processes. *Process* sebagai suatu kelanjutan operasi atau pengembangan

yang ditandai dengan serangkaian perubahan bertahap yang menggantikan satu sama lain dengan cara yang relatif tetap dan mengarahkan pada suatu tujuan.

Systems. *System* merupakan kombinasi dari komponen yang bertindak bersama dan melakukan suatu tujuan.

Disturbances. *Disturbance* adalah suatu sinyal yang cenderung mempengaruhi nilai keluaran dari suatu sistem. *Disturbance* yang dihasilkan oleh sistem dinamakan *internal disturbance* sedangkan *disturbance* yang muncul dari luar sistem disebut *external disturbance*.

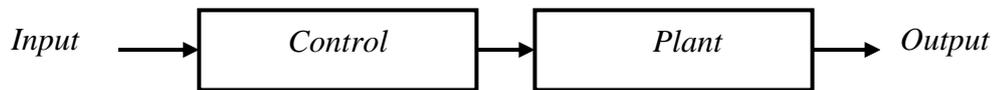
Feedback Control. *Feedback control* mengartikan pada suatu operasi yang memiliki gangguan dan cenderung mengurangi perbedaan diantara keluaran dan referensi *system*.

Dalam melakukan sebuah penelitian sistem kendali atau sistem kontrol terdapat tiga jenis variabel kendali atau kontrol yaitu variabel manipulasi, variabel respon, dan variabel kontrol. Dimana anantara satu variabel dengan variabel lain akan saling berhubungan, tetapi belum tentu saling mempengaruhi. Variabel manipulasi adalah variabel yang secara sengaja diubah-ubah untuk memperoleh hasil tertentu, dalam penelitian ini yang menjadi variabel manipulasi adalah mekanisme dari pengontrolan pesawat *tailsitter* [22]. Variabel terkontrol adalah besaran yang dapat berubah karena perubahan yang dilakukan pada variabel manipulasi, pada penelitian ini yang menjadi variabel kontrol yaitu kecepatan putaran motor *BLDC*, dan pergerakan motor *servo*. Variabel respon adalah variabel yang mendefinisikan tentang semua hal yang terjadi akibat dari perubahan variabel manipulasi dan variabel kontrol, pada penelitian ini yang menjadi variabel respon adalah *attitude* (sikap) dari pesawat *tailsitter* [22].

2.2.1. Open loop control system

Open loop control system merupakan suatu sistem kontrol yang keluarannya tidak mempunyai pengaruh terhadap aksi kontrol. Pada sistem kontrol loop terbuka tidak terdapat jaringan umpan balik. Dengan kata lain, sistem kontrol loop terbuka keluarannya tidak dapat digunakan sebagai perbandingan umpan balik dengan masukan [22]. Oleh karena itu sistem kontrol loop terbuka hanya dapat digunakan jika hubungan antara masukan dan keluaran sistem

diketahui dan tidak terdapat gangguan internal maupun eksternal [22], dapat dilihat dari Gambar 2.2 Diagram *Open Loop*.



Gambar 2. 2 Diagram *open loop*.

2.2.2. *Closed loop control system.*

Closed loop control system atau sistem kontrol *loop* tertutup merupakan sistem kontrol dimana sinyal keluaran mempunyai pengaruh langsung terhadap sinyal kontrol (aksi kontrol) [22]. Pada sistem kontrol *loop* tertutup terdapat jaringan umpan balik (*feedback*) karenanya sistem kontrol *loop* tertutup seringkali disebut sebagai sistem kontrol umpan balik [22], dilihat Diagram pada Gambar 2.3 Diagram *Close Loop*.



Gambar 2. 3 Diagram *close loop*.

2.3. *Sistem Fuzzy logic*

Sejarah ditemukannya *Fuzzy logic* diperkenalkan oleh Jan Lukasiewicz pada tahun 1920-an sebagai teori kemungkinan. Logika kemungkinan ini memperluas jangkauan dari nilai kebenaran untuk semua bilangan riil pada interval antara 0 dan 1. Pada tahun 1930 Max Black melanjutkan penelitiannya tentang ketidakjelasan (*vagueness*) sebuah latihan pada analisis logis [23].

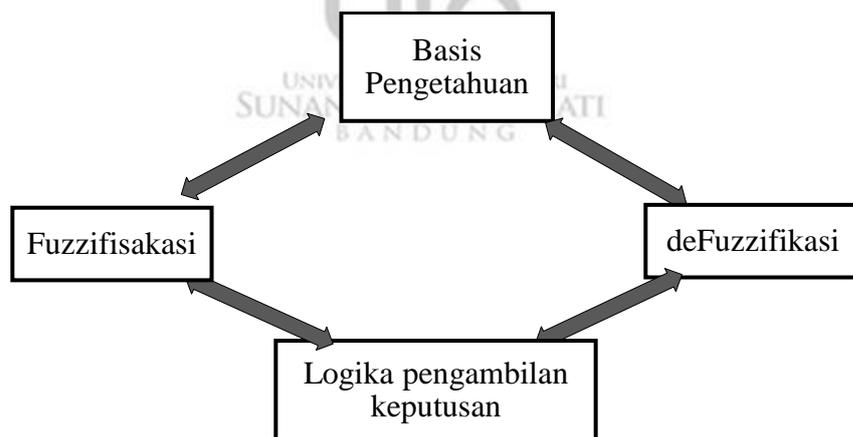
Pada tahun 1965, profesor dan kepala departemen teknik elektrik di University of California, Berkeley, Lotfi A. Zadeh, melanjutkan penelitian dan mempromosikan konsep ini. Professor Zadeh memperluas ruang kerja teori kemungkinan menjadi sistem logika matematika formal dan konsep baru untuk mengaplikasikan istilah bahasa alami pada penelitiannya, yaitu '*Fuzzy sets*'. Logika baru ini dinamakan *fuzzy logic* [23].

Fuzzy secara bahasa diartikan sebagai kabur atau samar samar. Suatu nilai dapat bernilai besar atau salah secara bersamaan. Dalam *fuzzy* dikenal derajat

keanggotaan yang memiliki rentang nilai 0 (nol) hingga 1(satu). Berbeda dengan himpunan tegas yang memiliki nilai 1 atau 0 (ya atau tidak). *Fuzzy logic* merupakan suatu logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran (*fuzzyness*) antara benar atau salah [24]. Dalam teori *fuzzy logic* suatu nilai bias bernilai benar atau salah secara bersama. Namun berapa besar keberadaan dan kesalahan suatu tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya. *Fuzzy logic* memiliki derajat keanggotaan dalam rentang 0 hingga 1[24].

Berbeda dengan logika digital yang hanya memiliki dua nilai 1 atau 0. *Fuzzy logic* digunakan untuk menterjemahkan suatu besaran yang diekspresikan menggunakan bahasa (*linguistic*), misalkan besaran kecepatan laju kendaraan yang diekspresikan dengan pelan, agak cepat, cepat, dan sangat cepat. Dan *fuzzy logic* menunjukkan sejauh mana suatu nilai itu benar dan sejauh mana suatu nilai itu salah. Tidak seperti logika klasik (*scrisp*)/tegas, suatu nilai hanya mempunyai 2 kemungkinan yaitu merupakan suatu anggota himpunan atau tidak. ° keanggotaan 0 (nol) artinya nilai bukan merupakan anggota himpunan dan 1 (satu) berarti nilai tersebut adalah anggota himpunan [24]

Konfigurasi dasar dari sistem *fuzzy logic* yang digunakan, ditunjukkan pada Gambar 2.4 [24]:



Gambar 2. 4 Konfigurasi dasar sistem *fuzzy logic*.

Konfigurasi sistem *fuzzy logic* 4 komponen utama, yaitu unit fuzzifikasi, basis pengetahuan yang terdiri dari data dan basis aturan, logika pengambilan keputusan, dan unit defuzzifikasi. Proses fuzzifikasi dipergunakan untuk

mengubah data masukan tegas bentuk derajat keanggotaan [24]. Basis pengetahuan dipergunakan untuk menghubungkan himpunan masukan dengan himpunan keluaran. Logika pengambilan keputusan dipergunakan untuk mengkombinasi aturan-aturan yang terdapat suatu pemetaan dari suatu himpunan *fuzzy input* ke himpunan *fuzzy output*. Defuzzifikasi adalah langkah terakhir dalam suatu sistem *fuzzy logic* dengan tujuannya adalah mengkonversi setiap hasil dari *inference engine* yang diekspresikan dalam bentuk himpunan *fuzzy* ke suatu bilangan *real* [24].

Adapun cara kerja dari sistem inferensia fuzzy atau FIS terdiri atas langkah-langkah berikut [25] :

1. Unit fuzzifikasi mendukung penerapan berbagai metode fuzzifikasi, dan mengubah *input crisp* (tegas) menjadi *input fuzzy*.
2. Basis pengetahuan (*knowledge base*)-kumpulan basis aturan dan basis data dibentuk pada konversi *input crisp* menjadi *input fuzzy*.
3. *Input fuzzy* pada unit defuzzifikasi diubah kembali menjadi *output yang crisp* (tegas).

2.4. Fuzzy logic Metode Mamdani

Metode Mamdani sering juga dikenal dengan nama metode MIN - MAX. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Terdapat 4 tahapan untuk mendapatkan *output* pada metode Fuzzy, yaitu [23]:

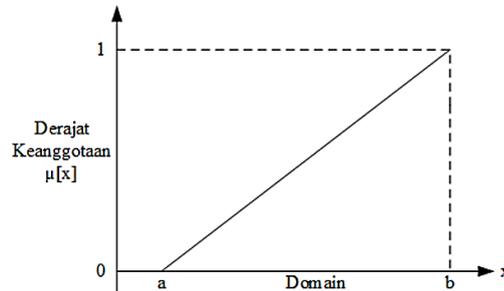
2.4.1. Pembentukan Himpunan Fuzzy

Berdasarkan metode Mamdani, variabel *input* dan *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan Fuzzy, dan setiap variabel *input* dan *output* memiliki variable linguistik. Fungsi keanggotaan adalah kurva yang menunjukkan penetapan titik masukan data dalam nilai keanggotaannya dengan interval antara 0 dan 1 [26]. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan, yaitu:

1. Representasi Linier

Pada representasi linier, pemetaan masukan ke $^{\circ}$ keanggotaannya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Ada dua keadaan himpunan Fuzzy linier, yaitu linier

naik dan linier turun. Gambar 2.5 [26] merepresentasikan himpunan Fuzzy linier naik dan Gambar 2.6 [26] merepresentasikan himpunan Fuzzy linier turun.



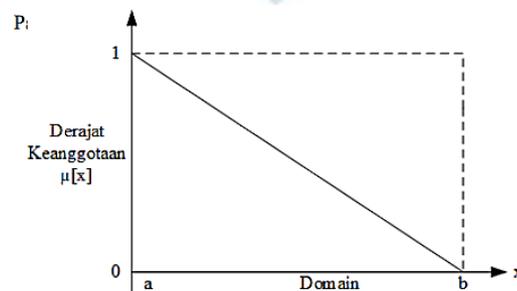
Gambar 2. 5 Representasi linear naik.

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & ; x \geq a \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a \geq x \geq b \\ 1 & ; x \leq b \end{cases} \quad 2.1$$

Keterangan:

- a = nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan nol
- b = nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan satu
- x = nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan *Fuzzy*



Gambar 2. 6 Representasi linear turun.

Fungsi Keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} \frac{b-x}{b-a} & ; a \geq x \geq b \\ 0 & ; x \leq b \end{cases} \quad 2.2$$

Keterangan:

- a = nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan satu

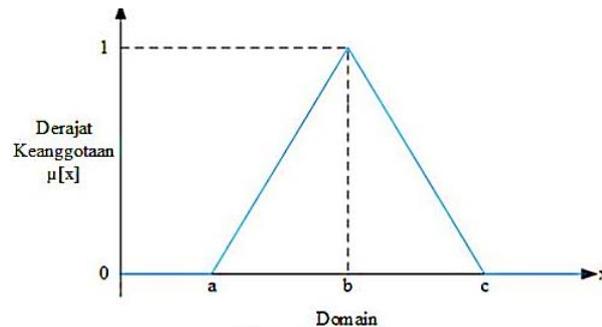
b = nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan nol

x = nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan *Fuzzy*

2. Representasi Kurva Segitiga

Pada dasarnya kurva segitiga merupakan gabungan antara 2 garis (linier).

Untuk representasinya dapat dilihat pada Gambar 2.7 [26]



Gambar 2. 7 Representasi kurva segitiga.

Fungsi Keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x - a}{b - a} & ; a \leq x \leq b \\ \frac{c - x}{c - b} & ; b \leq x \leq c \end{cases} \quad 2.3$$

Keterangan:

a = nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol

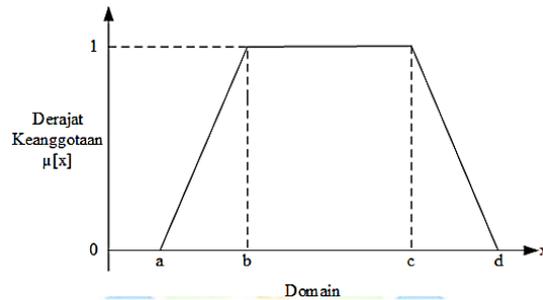
b = nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan satu

c = nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol

x = nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan *Fuzzy*

3. Representasi Kurva Trapesium

Kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga karena merupakan gabungan dari dua garis (linier), hanya terdapat beberapa titik dengan nilai keanggotaan 1. Representasi kurva trapesium dapat dilihat pada Gambar 2.8 [23].



Gambar 2. 8 Representasi kurva trapesium.

Fungsi Keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}; & a < x < b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}; & x \geq c \end{cases} \quad 2.4$$

Keterangan:

a = nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol

b = nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan satu

c = nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan satu

d = nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol

x = nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan *Fuzzy*

2.4.2. Aplikasi Fungsi Implikasi

Setelah variabel *input* dan *output* didapatkan, langkah selanjutnya pada metode Mamdani adalah menentukan aplikasi fungsi implikasi. Fungsi implikasi adalah struktur logis yang terdiri dari seperangkat premis dan kesimpulan. Fungsi implikasi berguna untuk mengetahui hubungan antara premis dan kesimpulan. Bentuk dari fungsi implikasi ini adalah dengan pernyataan *IF is A THEN is B*, dengan x dan y merupakan skalar, serta A dan B merupakan himpunan Fuzzy [16]. Dalam istilah logika Fuzzy, proposisi yang mengikuti *IF* disebut dengan antisenden, sedangkan proposisi yang mengikuti *THEN* disebut dengan konsekuen. Proposisi atau aturan Fuzzy ini dapat diperluas dengan menggunakan penghubung *Fuzzy AND* (interseksi).

Pada Fuzzy Mamdani, ada dua fungsi implikasi yang dapat digunakan, yaitu *MIN* dan *DOT*. Pada Gambar 2.9 dan Gambar 2.10 studi kasus yang diambil adalah *IF* permintaan TINGGI *AND* biaya produksi SEDANG *THEN* produksi barang NORMAL. Berikut adalah contoh penggunaan fungsi implikasi MIN dan DOT:

1. MIN (Minimum).

Pengambilan keputusan dengan fungsi min, yaitu dengan cara mencari nilai minimum berdasarkan aturan ke-i dan dapat dinyatakan dengan:

$$\alpha_i \cap \mu_{A_i}(Z) \tag{2.5}$$

dimana:

$$\alpha_i = \mu_{A_i}(x) \cap \mu_{B_i}(x) = \mathbf{min} \{ \mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(x) \} \tag{2.6}$$

Keterangan:

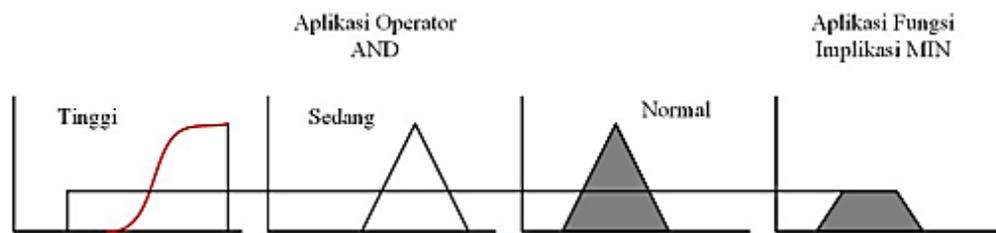
α_i = nilai minimum dari himpunan Fuzzy A dan B pada aturan ke-i

$\mu_{A_i}(x)$ = Derajat keanggotaan x dari himpunan Fuzzy A pada aturan ke-i

$\mu_{B_i}(x)$ = Derajat keanggotaan x dari himpunan Fuzzy B pada aturan ke-i

$\mu_{C_i}(x)$ = Derajat keanggotaan konsekuen pada himpunan Fuzzy C pada aturan ke-i

Gambar 2.9 [26] merupakan contoh penggunaan fungsi implikasi MIN pada kasus produksi barang.



Gambar 2. 9 Fungsi implikasi MIN.

2. DOT (*Product*)

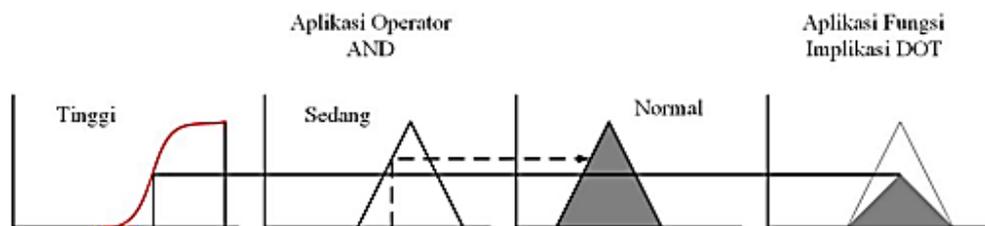
Pengambilan keputusan dengan fungsi DOT yang didasarkan pada aturan ke-i dinyatakan dengan:

Keterangan:

α_i = Nilai minimum dari himpunan Fuzzy A dan B pada aturan ke-i

$\mu_{Ci}(x)$ = Derajat keanggotaan konsekuen pada himpunan Fuzzy C pada aturan ke-i

Penggunaan fungsi DOT dapat dilihat pada Gambar 2.10 [26] dengan studi kasus yang sama dengan fungsi MIN.



Gambar 2. 10 Fungsi implikasi DOT.

2.4.3. Komposisi Aturan

Setelah didapatkan hasil dari fungsi implikasi, langkah selanjutnya adalah menentukan komposisi dari setiap aturan dan metode yang digunakan untuk melakukan inferensi sistem Fuzzy yaitu metode MAX. Solusi himpunan Fuzzy dalam metode ini diperoleh dengan mengambil nilai maksimum dari aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah Fuzzy dan menerapkannya pada *output* dengan menggunakan operator OR (*union*). Ketika semua proposisi telah ditinjau, *output* akan berisi himpunan Fuzzy yang mewakili kontribusi setiap proposisi. Secara umum dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Usf [x_i] = \max(Usf [x_i], Ukf [x_i]) \quad 2.8$$

Keterangan:

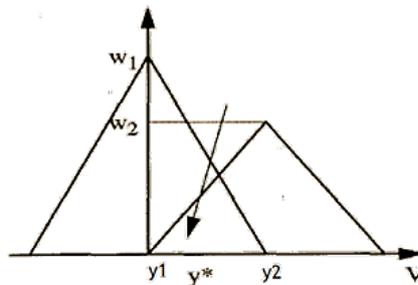
$Usf [x_i]$ = nilai keanggotaan solusi Fuzzy sampai aturan ke-i

$Ukf [x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen Fuzzy aturan ke-i

2.4.4. Defuzzifikasi

Proses defuzzifikasi dipergunakan untuk menafsirkan nilai keanggotaan Fuzzy menjadi keputusan tertentu atau bilangan real [26]. *Input* dari proses

defuzzifikasi adalah himpunan Fuzzy, sedangkan *output* yang dihasilkan berupa bilangan pada domain himpunan Fuzzy. Metode yang digunakan dalam proses defuzzifikasi ini adalah metode defuzzifikasi *Centroid* (titik pusat). Metode ini memperhatikan kondisi setiap area yang buram untuk menghasilkan hasil yang lebih akurat[27]. Metode *centroid* dapat disebut sebagai *center of area* (pusat gravitasi) dan merupakan metode yang paling umum dan banyak diusulkan digunakan oleh banyak peneliti. Metode *centroid* yaitu suatu metode dimana semua daerah Fuzzy dari hasil komposisi aturan digabungkan dengan tujuan untuk membentuk hasil yang optimal dan mengambil titik pusat daerah Fuzzy ditunjukkan oleh Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Reprsentasi kurva *centroid*.

2.5. Arduino UNO

Arduino UNO adalah alat elektronik *opensource* yang didalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Mikrokontroler itu sendiri adalah chip atau IC (*integrated Circuit*) yang bisa diprogram menggunakan computer [28]. Papan rangkaian Arduino Uno memakai mikrokontroler ATmega328 untuk Gambar nya bisa dilihat pada Gambar 2.6 [17] Arduino UNO.



Gambar 2. 12 Arduino UNO.

Arduino merupakan platform dari *physical computing* yang bersifat *open source*. Arduino Uno menggunakan perangkat lunak Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) dalam pembuatan programnya. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi kombinasi dari perangkat keras, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE) yang canggih. Perangkat lunak IDE digunakan untuk koding pemrograman, menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca *input*, memproses *input* tersebut dan kemudian menghasilkan *output* yang diinginkan. Konfigurasi pin pada board arduino Uno R3 terdiri dari [29]:

- Power (USB / *Barrel Jack*)

Setiap papan Arduino membutuhkan cara untuk terhubung ke sumber daya. Arduino UNO dapat diaktifkan dari kabel USB yang berasal dari komputer Anda atau catu daya dinding yang diakhiri dengan *jack barel*. Pada Gambar 2.5 di atas koneksi USB berlabel (1) dan jack laras diberi label (2).

- Pin (5V, 3.3V, GND, *Analog*, *Digital*, PWM, AREF)

Pin pada Arduino Anda adalah tempat di mana Anda menghubungkan kabel untuk membangun sirkuit (mungkin bersamaan dengan papan tempat memotong roti dan beberapa kawat. Mereka biasanya memiliki '*header*' plastik hitam yang hanya memasukkan kabel tepat ke papan. Arduino memiliki beberapa jenis pin, yang masing-masing dilabeli di papan dan digunakan untuk fungsi yang berbeda.

GND (3): Singkatan dari 'Ground'. Ada beberapa pin GND di Arduino, yang salah satunya dapat digunakan untuk menghubungkan ke sirkuit Anda.

5V (4) & 3.3V (5): Seperti yang Anda duga, pin 5V memasok daya 5 V, dan pin 3,3V memasok daya 3,3 V. Sebagian besar komponen sederhana yang digunakan dengan Arduino berjalan dengan gembira dari 5 atau 3,3 V.

Digital (7): Di seberang pin analog adalah pin digital (0 hingga 13 pada UNO). Pin ini dapat digunakan untuk *input* digital (seperti memberi tahu jika tombol ditekan) dan *output* digital (seperti menyalakan daya LED).

PWM (8): Pin digital (3, 5, 6, 9, 10, dan 11 pada UNO). Pin ini bertindak sebagai pin digital normal, tetapi juga dapat digunakan untuk sesuatu yang disebut *Pulse-Width Modulation* (PWM). Kami memiliki tutorial tentang PWM, tetapi untuk saat ini, anggap pin ini mampu mensimulasikan *output* analog (seperti memudahkan LED masuk dan keluar).

AREF (9): Singkatan dari Referensi Analog digunakan untuk mengatur tegangan referensi eksternal (antara 0 dan 5 Vs) sebagai batas atas untuk pin *input* analog.

- Tombol Atur ulang (*Reset*)

Sama seperti Nintendo asli, Arduino memiliki tombol reset (10). Menekannya untuk sementara akan menghubungkan pin reset ke *ground* dan *restart* kode yang dimuat pada Arduino.

- Indikator Daya LED

LED ini akan menyala setiap kali dicolokkan dari arduino ke sumber listrik.

- LED TX RX

TX adalah kependekan dari pengiriman, RX adalah kependekan dari penerimaan. Tanda-tanda ini muncul sedikit di elektronik untuk menunjukkan pin yang bertanggung jawab untuk komunikasi serial. Dalam kasus kami, ada dua tempat di Arduino UNO di mana TX dan RX muncul – sekali dengan pin digital 0 dan 1, dan kedua kalinya di sebelah TX dan LED indikator RX. LED ini akan memberikan beberapa indikasi visual yang bagus setiap kali Arduino menerima atau mentransmisikan data.

- IC utama

Benda hitam dengan semua kaki logam adalah IC, atau *Integrated Circuit*. Anggap saja sebagai otak Arduino kita. IC utama pada Arduino sedikit berbeda dari jenis papan ke jenis papan, tetapi biasanya dari garis ATmega IC dari perusahaan ATMEL. Ini bisa menjadi penting, karena Anda mungkin perlu mengetahui jenis IC (bersama dengan jenis papan Anda) sebelum memuat program baru dari perangkat lunak Arduino. Informasi ini biasanya dapat ditemukan secara tertulis di sisi atas IC. Jika Anda ingin tahu lebih banyak tentang perbedaan antara berbagai IC, membaca lembar data seringkali merupakan ide yang bagus.

- Regulator tegangan

Regulator tegangan melakukan apa yang dikatakannya dimana ia mengontrol jumlah tegangan yang dibiarkan masuk ke papan Arduino. Anggap saja sebagai semacam penjaga gerbang dimana dia akan mengubah tegangan ekstra yang dapat membahayakan sirkuit. Tentu saja, ia memiliki batasnya, jadi jangan menghubungkan Arduino Anda dengan apa pun yang lebih besar dari 20 V.

2.6. Arduino IDE

IDE (*Integrated Development Environment*) Arduino merupakan aplikasi aplikasi yang mencakup editor, compiler dan pengunggah dapat menggunakan semua seri modul keluarga Arduino, seperti Arduino *Duemilanove*, Uno, *Bluetooth*, Mega. Kecuali ada beberapa tipe board produksi Arduino yang memakai mikrokontroler di luar seri AVR, seperti mikroprosesor ARM. Editor Sketch pada IDE Arduino juga mendukung fungsi penomoran baris, *nsyntax highlighting*, yaitu pengecekan sintaksis kode *sketch* [21].

IDE Arduino juga memiliki keterbatasan tidak mendukung fungsi *debugging* perangkat keras maupun perangkat lunak, selain itu disarankan harus memahami bahasa C. Untuk memprogram *board* Arduino, kita membutuhkan aplikasi IDE (*Integrated Development Environment*) bawaan dari Arduino. Aplikasi ini berguna sebagai teks editor untuk membuat, membuka, mengedit, dan juga mevalidasi kode serta untuk di upload ke *board* Arduino. Program yang

digunakan pada Arduino disebut dengan istilah “*sketch*” yaitu file *source code* arduino dengan teks editor pada umumnya yaitu memiliki fitur untuk *cut/paste* dan untuk *find/replace* teks. Pada bagian keterangan aplikasi memberikan pesan balik saat menyimpan dan mengeksport dan juga sebagai tempat menampilkan kesalahan. Konsol log menampilkan *output* teks dari Arduino Perangkat lunak (IDE), termasuk pesan kesalahan yang lengkap dan informasi lainnya. Pojok kanan bawah jendela menampilkan papan dikonfigurasi dan port serial. Tombol *toolbar* memungkinkan untuk memverifikasi dan meng-upload program, membuat, membuka, dan menyimpan *sketch*, dan membuka monitor serial [26].

2.7. Sistem Pendingin

Sistem pendinginan berfungsi untuk menurunkan temperatur. Motor dengan efisiensi tinggi memiliki panas tinggi hasil energi yang dirubah menjadi gerakan mekanis, dengan hanya sebagian kecil panas yang terbuang dengan mempertimbangkan faktor ekonomis, daya tahan, keselamatan, serta ramah lingkungan.

2.7.1. Kipas PWM

Kipas PWM adalah jenis kipas (*fan*) yang menggunakan metode pengendalian sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk mengatur kecepatan putarannya. Metode ini memungkinkan pengguna untuk mengontrol dengan presisi seberapa banyak tenaga yang disalurkan ke kipas, yang pada gilirannya mengatur kecepatan putaran kipas. Pada kipas PWM, lebar pulsa dari sinyal listrik yang dikirimkan ke kipas berubah-ubah dengan cepat. Dalam setiap periode siklus, lebar pulsa berubah sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Misalnya, jika Anda ingin mengurangi kecepatan kipas, lebar pulsa yang lebih pendek dapat digunakan, sehingga kipas akan berputar lebih lambat. Jika Anda ingin kipas berputar lebih cepat, lebar pulsa yang lebih panjang digunakan [30]. Gambar 2.13 Contoh Kipas PWM yang digunakan.



Gambar 2. 13 Kipas PWM.

PWM merupakan sebuah mekanisma untuk membangkitkan sinyal keluaran yang periodenya berulang antara *high* dan *low* dimana dapat mengontrol durasi sinyal *high* dan *low* sesuai dengan yang kita inginkan. *Duty cycle* merupakan prosentase periode sinyal *high* dan periode sinyal, prosentase *duty cycle* akan bebanding lurus dengan rata-rata dihasilkan. Pengaturan lebar pulsa modulasi atau PWM yang “ampuh” yang digunakan dalam sistem kendali (*control system*) saat ini. Pengaturan lebar modulasi dipergunakan di berbagai bidang yang sangat luas, salah satu diantaranya adalah speed control (kendali kecepatan), power control (kendali sistem tenaga), *measurement and communication* (pengukuran atau instrumentasi dan telekomunikasi) [30].

PWM secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. aplikasi PWM pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, audio effect penguatan, aplikasi-aplikasi lainnya merupakan satu teknik untuk mendapatkan sinyal analog dari sebuah piranti digital. Sebenarnya sinyal PWM dapat dibangkitkan dengan banyak cara, secara analog menggunakan IC op-amp atau secara digital [30].

2.7.2. Pulse Width Modulation (PWM)

Pengaturan lebar pulsa modulasi PWM merupakan salah satu teknik yang “ampuh” yang digunakan dalam sistem kendali (*control system*) saat ini.

Pengaturan lebar modulasi dipergunakan berbagai bidang luas, satu diantaranya adalah *speed control* (kendali kecepatan), *power control* (kendali sistem tenaga), *measurement and communication* (pengukuran atau instrumentasi dan telekomunikasi). Modulasi lebar pulsa (PWM) dicapai/diperoleh bantuan sebuah gelombang kotak yang mana siklus kerja (*duty cycle*) [28].

Gelombang dapat diubah-ubah untuk mendapatkan sebuah tegangan keluaran yang bervariasi yang merupakan nilai rata-rata dari gelombang tersebut. PWM pada dasarnya adalah menyalakan (*ON*) dan mematikan (*OFF*) motor DC dengan cepat. Kuncinya adalah mengatur berapa lama waktu *ON* dan *OFF* [28]. Teknik ini sangat berguna untuk mengontrol daya keluaran dari perangkat elektronik, seperti kipas, motor, lampu, dan sebagainya. Pada kipas PWM, ketika daya diberikan, kipas berputar pada kecepatan tertentu dalam durasi tertentu, dan saat daya dimatikan, kipas berhenti berputar atau berputar dengan kecepatan yang lebih rendah dalam durasi tertentu yang lainnya. Siklus *ON-OFF* yang berulang ini memungkinkan kita untuk mengatur kecepatan kipas dengan mengubah rasio antara durasi pulsa *ON* dan durasi pulsa *OFF*.

Karakteristik kipas PWM:

1. Frekuensi PWM: Frekuensi PWM mengacu pada jumlah siklus *ON-OFF* yang terjadi dalam satu detik. Semakin tinggi frekuensi PWM, semakin halus kontrol kecepatan kipas dapat diatur. Namun, frekuensi yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan konsumsi daya yang lebih besar dan menghasilkan panas lebih banyak.
2. Filter Rata-rata: Kipas PWM seringkali diterapkan pada sistem elektronik modern untuk mengatur temperatur dan mencegah kerusakan akibat panas berlebih. Namun, gelombang PWM kasar dapat menyebabkan getaran atau suara yang tidak diinginkan. Untuk mengatasi masalah ini, digunakan filter rata-rata (*low-pass filter*) yang dapat menghaluskan keluaran dan mengurangi perubahan tiba-tiba dalam kecepatan kipas.
3. Aplikasi: Kipas PWM banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem pendingin pada motor, kontrol temperatur dalam lemari pendingin, kontrol kecepatan kipas pada komputer, dan lain sebagainya.

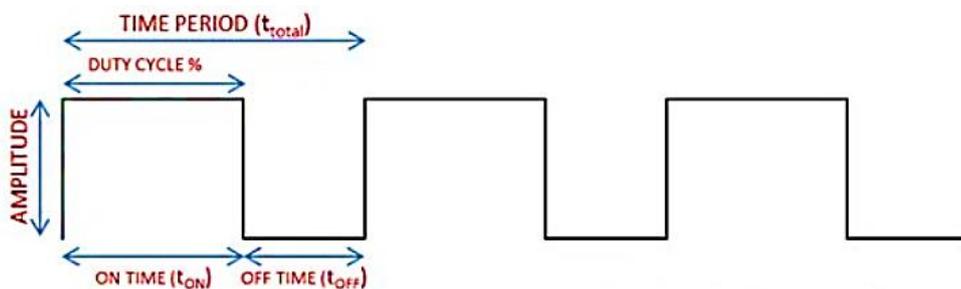
- Keunggulan: Kipas PWM menghadirkan sejumlah keunggulan, termasuk efisiensi energi lebih tinggi karena kipas hanya bekerja pada tingkat kecepatan yang diperlukan untuk menjaga temperatur pada tingkat yang aman. Selain itu, pengendalian kecepatan kipas dengan PWM lebih halus dan responsif dibandingkan dengan metode kontrol lainnya.

Dengan mengatur siklus tugas dan frekuensi PWM, kita dapat mengontrol kecepatan kipas dengan presisi dan menghindari masalah panas berlebih pada motor atau perangkat lainnya, yang pada gilirannya dapat meningkatkan efisiensi dan umur operasional perangkat tersebut.

2.7.3. Siklus Kerja PWM

Seperti yang disebutkan diatas, Sinyal PWM akan tetap *ON* untuk waktu tertentu dan kemudian terhenti atau *OFF* selama sisa periodenya. Yang membuat PWM ini istimewa dan lebih bermanfaat adalah kita dapat menetapkan berapa lama kondisi *ON* harus bertahan dengan cara mengendalikan siklus kerja atau *Duty Cycle* PWM [31].

Persentase waktu di mana sinyal PWM tetap pada kondisi TINGGI (*ON Time*) disebut dengan “siklus kerja” atau “*Duty Cycle*”. Kondisi yang sinyalnya selalu dalam kondisi *ON* disebut sebagai 100% *Duty Cycle* (Siklus Kerja 100%), sedangkan kondisi yang sinyalnya selalu dalam kondisi *OFF* (mati) disebut dengan 0% *Duty Cycle* (Siklus Kerja 0%) [31], dapat dilihat pada Gambar 2.14 [32].



Gambar 2. 14. Siklus kerja PWM.

2.8. Sensor

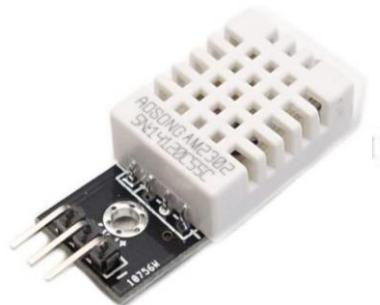
Sensor adalah perangkat yang menerima *input* fisik dari lingkungan, mengukurnya, dan mengubahnya menjadi data yang dapat diinterpretasikan oleh

manusia dan mesin. Sebagian besar sensor bersifat elektronik (data diubah menjadi data elektronik), tetapi beberapa sensor ada yang lebih sederhana yaitu Termometer raksa (termometer kaca). Oleh karena itu, sensor bekerja tidak berdasarkan perintah ataupun instruksi dari sistem atau manusia melainkan karena menerima *trigger* atau *trigger* dari luar [33].

- **Sensor DHT22**

Sensor DHT 22 adalah sensor digital yang dapat mengukur temperatur -40°C – 125°C dan kelembaban udara 0%-100% di sekitarnya. Sensor ini sangat mudah digunakan bersama dengan Arduino. Sensor temperatur dan kelembaban relatif yang digunakan pada pembuatan alat ini yaitu DHT22. DHT22 yang digunakan sudah berupa modul yang tampilannya seperti pada Gambar 2. 15 Modul sensor temperatur DHT22 [34].

Modul ini dapat digunakan sebagai alat pengindra dan kelembaban dalam aplikasi pengendali temperatur dan kelembaban ruangan aplikasi pemantau temperatur dan kelembaban relatif ruangan [34]. Sensor DHT22 sangat mudah diaplikasikan pada mikrokontroler tipe Arduino karena memiliki tingkat stabilitas yang dapat dipercaya dan fitur kalibrasi yang memiliki hasil sangat akurat.



Gambar 2. 15 Modul sensor temperatur DHT22.

Pada Gambar 2.15 yaitu modul sensor DHT22 mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- a. Catu daya: 3,3 - 6 V DC (tipikal 5 VDC)
- b. Sinyal keluaran: digital lewat bus tunggal dengan kecepatan 5 ms/operasi
- c. Elemen pendeteksi: kapasitor polimer (*polymer capacitor*)
- d. Jenis sensor: kapasitif (*capacitive sensing*)
- e. Rentang deteksi kelembaban: 0-100% RH (akurasi $\pm 2\%$ RH)

- f. Rentang deteksi temperatur: $-40^{\circ}\text{C} - +80^{\circ}\text{C}$ (akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
- g. Resolusi sensitivitas: 0,1% RH; $0,1^{\circ}\text{C}$
- h. Histeresis kelembaban: $\pm 0,3\%$ RH
- i. Stabilitas jangka panjang: $\pm 0,5\%$ RH / tahun
- j. Periode pemindaian rata-rata: 2 detik
- k. Ukuran: 25,1 x 15,1 x 7,7 mm
- l. Hubungkan pin 2 (data) dari sensor ini dengan pin Digital I/O pada MCU (*Microcontroller Unit*).

2.9. *Power Supply*

Power Supply adalah sebuah komponen yang digunakan untuk memasok atau menyediakan daya listrik ke sebuah atau lebih perangkat. *Power supply* saat ini telah dirancang sedemikian rupa untuk mampu mengubah bahan dasar energi semisal energi matahari, angin, hingga kimia menjadi energi listrik [36].

Komponen *power supply* ini sangat penting dan tidak dapat diremehkan. Dapat dipastikan bila komponen ini mengalami permasalahan, maka perangkat tersebut tidak akan mungkin berfungsi secara normal. Saat menghidupkan sebuah perangkat, maka seketika itu juga *power supply* langsung melakukan semacam pemeriksaan serta tes sebelum sistem operasi pada komputer tersebut dijalankan. Jika tes atau pemeriksaan ini tidak bermasalah, maka *power supply* melakukan tugas berikutnya yakni mengirim sinyal menuju mainboard bahwa sistem telah siap untuk dioperasikan. Setelah itu, *power supply* akan beralih ke tugas selanjutnya yakni membagi daya listrik pada setiap komponen yang ada pada komputer tersebut. Besar daya yang dibagi disesuaikan dengan keperluan dan kemampuan dari tiap komponen [36].

- Fungsi *Power supply*

Fungsinya *power supply* adalah mengubah tegangan, mengubah daya, dan mengatur daya bagi tegangan *output*. Berikut ini beberapa fungsi *power supply* [36]:

1. Mengubah arus dari tegangan listrik supaya tidak melebihi batas maksimal pada sebuah perangkat

2. Membuat daya cadangan berupa baterai, sebagai contohnya adalah sebuah UPS sebagai bentuk antisipasi mencegah matinya listrik secara mendadak sehingga suplai energi terputus
3. Mengubah arus dengan tegangan tinggi (*AC, Alternating Current*) menjadi arus dengan tegangan rendah (*DC, Direct Current*).

2.10. LCD (*Liquid Crystal Display*) 20x4

Penampil data *Liquid crystal display* (LCD) 20x4 merupakan komponen elektronika, mempunyai fungsi sebagai penampil karakter, angka, huruf bahkan grafik. *CMOS logic* adalah salah satu teknologi yang digunakan dalam membuat LCD, di mana teknologi ini memantulkan cahaya yang ada pada sekelilingnya dan tidak menghasilkan cahaya (*backlit*). Beberapa campuran organik yang berada pada lapisan kaca bening dan elektroda yang transparan berbentuk seven segment merupakan komponen dasar dalam pembuatan LCD. Saat di *trigger* tegangan, maka elektroda aktif dengan medan listrik dan molekul-molekul organik yang beebentuk panjang dan silindris secara otomatis menyesuaikan dengan elektroda pada seven segmen. Pada sistem pencahayaan, terdapat lapisan sandwich yang memiliki polarizer cahaya dengan bentuk vertical depan dan polarizer cahaya horizontal, dan terdapat juga lapisan reflector yang mengikuti. Pada saat membentuk sebuah karakter yang diinginkan, maka gelombang cahaya yang dipantulkan tidak dapat menembus lapisan molekul yang sudah menyesuaikan serta segmen yang aktif terlihat gelap [33].