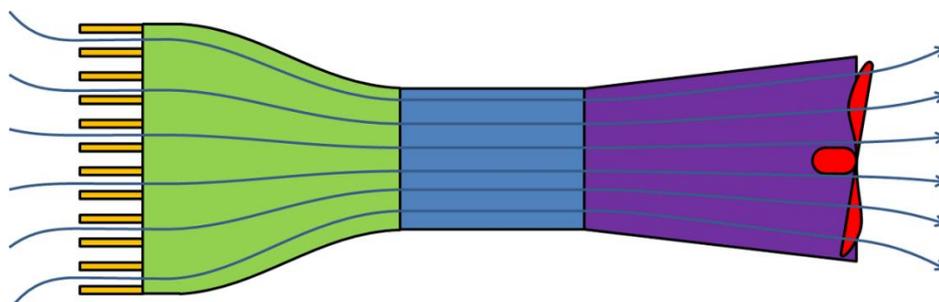


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Wind Tunnel

Wind tunnel atau terowongan angin adalah peralatan yang digunakan untuk menghasilkan aliran udara pada kecepatan tertentu. Terowongan angin merupakan peralatan yang sangat penting untuk penelitian tentang aerodinamika antara lain tentang karakteristik aliran udara/gas ketika melewati obyek tertentu. Komponen utama terowongan angin antara lain *screen*, *honeycombs* sebagai penyearah aliran udara yang masuk kedalam seksi uji, Seksi uji sebagai letak di mana model yang akan diuji, fan atau *propeller* digunakan untuk menghasilkan aliran udara, dan *external balance* sebagai alat ukur gaya yang terjadi pada benda kerja. (Ikhwanul, I , 2011). Pada Gambar 2.1 menunjukkan model *wind tunnel* secara umum.



Gambar 2.1 Model *Wind Tunnel*

Sumber: jellyandmarshmallows.co.uk

2.1.1 Kegunaan Wind Tunnel

Terowongan angin digunakan mensimulasikan keadaan sebenarnya pada suatu benda yang berada dalam pengaruh gaya-gaya aerodinamik dalam bidang aeronautika kinerja mekanika terbang (*flight mechanic*) dari suatu benda terbang (*aerial vehicle*) dapat diuji secara experimental.

Pada bidang otomotif desain kendaraan modern menuntut bentuk (*shape*) yang futuristik tapi juga hambatan angin dapat direduksi sehingga konsumsi bahan bakar lebih hemat. Dalam hal ini reduksi *Coefisien Drag* dapat dilakukan melalui pengujian dengan terowongan angin. Selain itu juga menuntut kestabilan tinggi terutama saat menikung

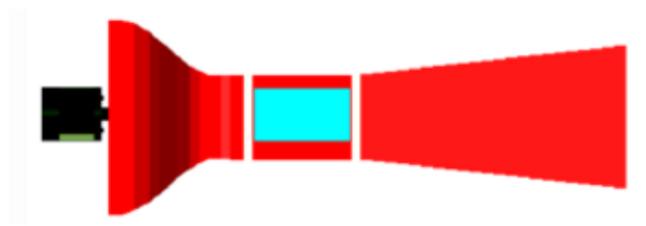
sehingga menuntut gaya tekan ke bawah (*down force negative lift*) yang optimal. Terowongan tipe ini biasanya menggunakan rantai seksi uji yang dapat bergerak sesuai kecepatan objek untuk menghilangkan pengaruh lapisan batas (*boundary layer*)lantai. (Ikhwanul, I , 2011).

2.1.2 Tipe Wind Tunnel

Terdapat 2 tipe terowongan angin,antara lain :

1. Rangkaian Terbuka (*Open Circuit Tunnel*).

Pada tipe terowongan ini udara mengikuti jalur lurus dari jalur masuk melalui kontraksi keseksi uji, diikuti *diffuser*, rumah *fan*, dan saluran keluar ke udara. (Muhammad, 2006). Gambar 2.2 menunjukkan tipe *wind tunnel* rangkaian terbuka.

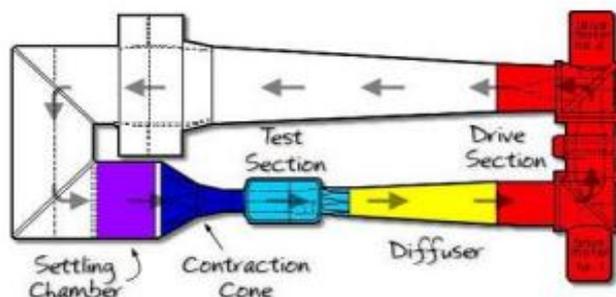


Gambar 2.2 Rangkaian Terbuka (*Open Circuit Tunnel*).

Sumber: Muhammad, 2006

2. Rangkaian tertutup (*Closed- Circuit Tunnel*)

Terowongan ini mempunyai jalur yang kontinyu untuk udara. Udara yang keluar dari diffuser diarahkan kembali untuk masuk ke *contraction cone*. (Muhammad, 2006). Gambar 2.3 menunjukkan tipe *wind tunnel* rangkaian tertutup.



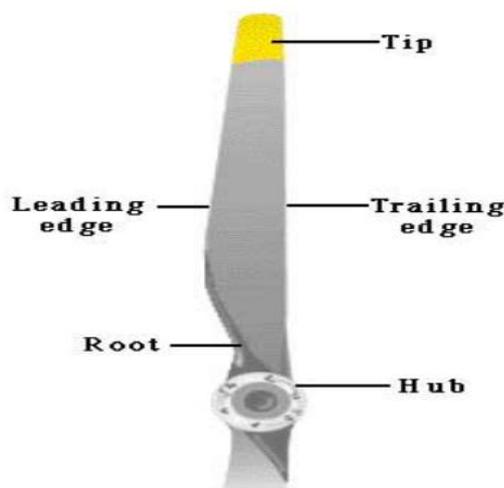
Gambar 2.3 Rangkaian Tertutup (*Closed Circuit Tunnel*)

Sumber: Muhammad, 2006

Tipe *wind tunnel* yang akan digunakan disini adalah tipe *wind tunnel open-circuit* di mana udara yang sudah lewat tidak diarahkan kembali namun langsung menuju udara bebas.

2.2 Propeller

Propeller merupakan sekelompok sayap berputar yang dibentuk bengkak, yang ditujukan agar menciptakan arah dari resultan gaya angkat yang menuju ke depan. Pada umumnya *propeller* terdiri dari dua atau lebih baling yang dihubungkan ke *central hub* yang merupakan bagian di mana baling – baling tersambung. *Propeller* berfungsi untuk mengubah gaya rotasi dari mesin menjadi gaya *propulsif* sebagai gaya dorong (*Thrust*). (Ikhwanul, I , 2011). Untuk lebih jelasnya bagian – bagian dari geometri *propeller* yang dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Bagian-Bagian *Propeller*

Sumber : Ikhwanul, I , 2011

Berikut adalah penjelasan bagian – bagian yang terdapat pada sebuah propeller:

1. *Leading Edge* (Bagian depan)

Merupakan bagian depan sebuah *airfoil* yang berfungsi untuk memotong udara. Ketika udara terbelah, maka aliran udara akan melewati permukaan yang melengkung (*cambered face*) dan bagian bawah yang rata (*flat face*).

2. *Tip*

Merupakan bagian terluar *propeller* dari Hub.

3. *Root*

Adalah bagian dari baling yang terdekat dengan hub.

4. *Hub*

Merupakan pusat propeller sebagai bagian di mana baling – baling melekat.

2.3 Tipe Aliran *Fluida*

Aliran *fluida* dapat digolongkan menjadi beberapa jenis yaitu:

1. Aliran *Steady*.

Suatu aliran *fluida* disebut *steady* jika aliran yang mana kondisi alirannya (kecepatan, tekanan, densitas, dsb) tidak berubah dengan waktu. sebagai contoh : pada saat kita membuka kran dengan bukaan kran yang tetap maka alirannya adalah *steady flow*.

2. Aliran *Unsteady*

Jika terdapat perubahan kecepatan terhadap waktu dalam aliran tersebut. Sebagai contoh, pada saat kita memutar penutup kran maka air yang mengalir adalah *unsteady flow*.

3. Aliran *laminar*

Aliran *Laminer* adalah aliran *fluida* yang bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan (anima-lamina) membentuk garis-garis alir yang tidak berpotongan satu sama lain. Hal tersebut di tunjukkan oleh percobaan *Osborne Reynold*. Pada laju aliran rendah, aliran laminar tergambar sebagai filamen panjang yang mengalir sepanjang aliran. Aliran ini mempunyai Bilangan *Reynold* lebih kecil dari 2300.

4. Aliran *turbulen*

Aliran *turbulen* adalah aliran *fluida* yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi. Akibat dari hal tersebut garis alir antar partikel *fluidanya* saling berpotongan. Oleh *Osborne Reynold* digambarkan sebagai bentuk yang tidak stabil yang bercampur dalam waktu yang cepat yang selanjutnya memecah dan menjadi tak terlihat. Aliran *turbulen* mempunyai bilangan *reynold* yang lebih besar dari 3000.

Faktor yang mempengaruhi aliran *laminar* dan *turbulen* adalah bilangan *Reynolds*. Dalam mekanika *fluida*, bilangan *Reynolds* adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasikan jenis aliran yang berbeda, misalnya *laminar* dan *turbulen*. Bilangan *Reynold* merupakan salah satu bilangan tak berdimensi yang paling penting dalam mekanika *fluida* dan digunakan, seperti halnya dengan bilangan tak berdimensi lain, untuk memberikan kriteria dalam menentukan *dynamic similitude*. Jika dua pola aliran yang mirip secara geometris, mungkin pada *fluida*

yang berbeda dan laju alir yang berbeda pula, memiliki nilai bilangan tak berdimensi yang relevan, keduanya disebut memiliki kemiripan dinamis. (Adrian, A., 2012)

2.3.1 Asas Bernoulli

Asas *Bernoulli* adalah tekanan *fluida* di tempat yang kecepatannya tinggi lebih kecil daripada di tempat yang kecepatannya lebih rendah. Jadi semakin besar kecepatan *fluida* dalam suatu pipa maka tekanannya makin kecil dan sebaliknya makin kecil kecepatan *fluida* dalam suatu pipa maka semakin besar tekanannya. Perhatikan animasi berikut. Hukum *Bernoulli* untuk *fluida* yang mengalir pada suatu tempat maka jumlah usaha, energi kinetik, energi potensial *fluida* persatuan volume *fluida* tersebut mempunyai nilai yang tetap pada setiap titik. Jadi jumlah dari tekanan, energi kinetik persatuan volume, dan energi potensial persatuan volume mempunyai nilai yang sama pada setiap titik sepanjang suatu garis arus. (Adrian, A., 2012)

Pada percobaan *pitot tube* (Alat ukur yang dapat Anda gunakan untuk mengukur kelajuan gas), saat kecepatan putar baling-baling pada terowongan angin 700 rpm kecepatan aliran udara 0,306 m/s dan saat 800 rpm kecepatan aliran udaranya sebesar 0,792 m/s. Pada plat berlubang yang disisipkan pada laluan aliran *fluida* yang diukur (*orifice*), alat primer berfungsi untuk mendapatkan beda tekanan antara aliran pada *up stream* dan *down stream* dari *orifice* itu sendiri, saat kecepatan putar baling-baling pada terowongan angin 700 rpm kecepatan aliran udara 0,51 m/s dan saat 800 rpm kecepatan aliran udaranya sebesar 0,602 m/s. Semakin tinggi kecepatan putar baling-baling maka kecepatan aliran udaranya semakin besar. Semakin cepat aliran udara maka tekanannya pun semakin kecil. Sesuai dengan asas *Bernoulli* bahwa tekanan berbanding terbalik dengan kecepatan.

Pada *pitot tube*, saat kecepatan putar baling-baling pada terowongan angin 700 rpm nilai debit sebesar $1,0898 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan saat 800 rpm nilai debit *fluida* sebesar $0,974 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. Pada venturimeter, saat kecepatan putar baling-baling pada terowongan angin 700 rpm nilai debit sebesar $2,177 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan saat 800 rpm nilai debit *fluida* sebesar $2,153 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. Semakin besar nilai rpm maka nilai debit semakin besar. Telah diketahui bahwa debit adalah jumlah volume *fluida* yang mengalir per satuan waktu. Sehingga, jika kecepatan aliran semakin rendah maka nilai debitnya pun semakin kecil. (Adrian, A., 2012)

2.4 Kontroler

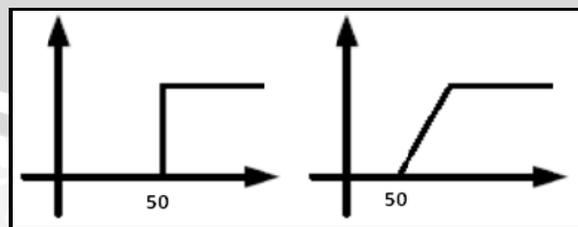
Adanya kontroler dalam sebuah sistem kontrol sangat berperan penting terhadap seluruh perilaku yang terjadi pada sistem. Pada dasarnya semua itu disebabkan oleh komponen yang digunakan sebagai perancangan system tersebut. Artinya, karakteristik plant yang digunakan harus dapat diterima sebagaimana adanya, sehingga segala pergerakan dari sistem hanya dapat dilakukan dengan menambahkan subsistem yaitu kontroler.

Prinsip kerja kontroler adalah membandingkan nilai aktual keluaran plant dengan nilai referensi, kemudian menentukan nilai kesalahan dan akhirnya menghasilkan sinyal kontrol untuk meminimalkan kesalahan (Ogata, K., 1997).

2.5 Kontrol Logika Fuzzy

Dalam bahasa Inggris, fuzzy mempunyai arti kabur atau tidak jelas. Jadi, logika fuzzy adalah logika yang kabur, atau mengandung unsur ketidakpastian. Fuzzy istilah yang dipakai oleh Lotfi A Zadeh pada bulan Juli 1964 untuk menyatakan kelompok atau himpunan yang dapat dibedakan dengan himpunan lain berdasarkan derajat keanggotaan dengan batasan yang tidak begitu jelas (samar), tidak seperti himpunan klasik yang membedakan keanggotaan himpunan menjadi dua, himpunan anggota atau bukan anggota.

Pada logika biasa, yaitu logika tegas, kita hanya mengenal dua nilai, salah atau benar, 0 atau 1. Sedangkan logika fuzzy mengenal nilai antara benar dan salah. Kebenaran dalam logika fuzzy dapat dinyatakan dalam derajat kebenaran yang nilainya antara 0 sampai 1. Misalnya dalam kehidupan sehari-hari, tua didefinisikan dengan berusia 50 tahun ke atas. Jika menggunakan logika tegas, seseorang yang berusia 50 tahun kurang 1 hari akan didefinisikan sebagai tidak tua. Namun dalam logika fuzzy, orang tersebut dapat dinyatakan dengan hampir tua. (Kusumadewi, Sri., 2003).

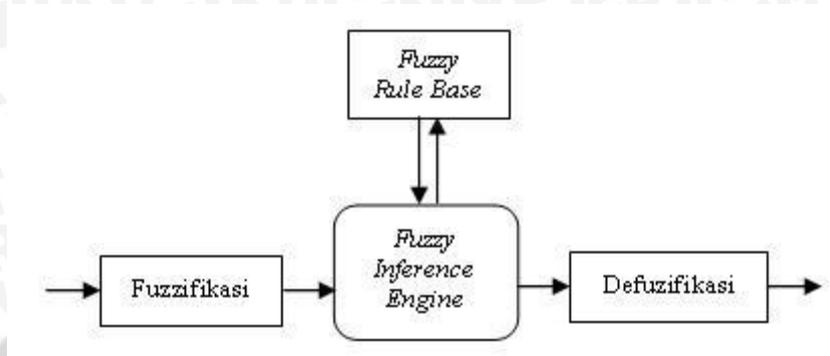


Gambar 2.5 Logika Tegas (Kiri) Dan Logika Fuzzy (Kanan)

Sumber: Kusumadewi, Sri., 2003

2.5.1 Struktur Dasar Kontrol Logika Fuzzy

Sistem fuzzy berisikan 4 komponen penyusun logika fuzzy yaitu, unit *fuzzifikasi*, *fuzzy rule*, *fuzzy inference*, dan unit *defuzzifikasi*. (Kusumadewi, Sri., 2003). Struktur dasar kontrol logika fuzzy dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Struktur Dasar Kontrol Logika Fuzzy

Sumber: Kusumadewi, Sri., 2003

2.5.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah proses yang dilakukan untuk mengubah variabel nyata menjadi variabel *fuzzy*, ini ditujukan agar masukan kontroler *fuzzy* bisa dipetakan menuju jenis yang sesuai dengan himpunan *fuzzy*. Pemetaan dilakukan dengan bantuan model dari fungsi keanggotaan agar dapat diketahui besar masukan tersebut (derajat keanggotaan).

fungsi keanggotaan

$\chi_A(x)$ bernilai 1 jika x anggota himpunan A , dan bernilai 0 jika x bukan anggota himpunan A . Jadi, fungsi keanggotaan ini hanya bisa bernilai 0 atau 1.

$$\chi_A : x \rightarrow \{0,1\} \quad (2.1)$$

Sedangkan dalam logika *fuzzy*, fungsi keanggotaan menyatakan derajat keanggotaan pada suatu himpunan. Nilai dari fungsi keanggotaan ini berada dalam selang $[0,1]$, dan dinyatakan dengan μ_A .

$$\mu_A : x \rightarrow [0,1] \quad (2.2)$$

Suatu himpunan *fuzzy* A dalam semesta pembicaraan U dinyatakan dengan fungsi keanggotaan, μ_A yang harganya berada dalam interval nol dan satu. Secara matematika hal ini dinyatakan dengan :

$$\mu_A : U \rightarrow [0,1] \quad (2.3)$$

Fungsi keanggotaan $\mu_A(x)$ bernilai 1 jika x anggota penuh himpunan A , dan bernilai 0 jika x bukan anggota himpunan A . Sedangkan jika derajat keanggotaan berada

dalam selang $(0,1)$, misalnya $\mu_A(x) = \mu$, menyatakan x sebagian anggota himpunan A dengan derajat keanggotaan sebesar μ . (Yan, 1994)

Ada 3 cara mendefinisikan himpunan *fuzzy*:

1. Sebagai himpunan pasangan berurutan.

misalkan himpunan *fuzzy* A didefinisikan dalam semesta $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, maka himpunan pasangan berurutan yang menyatakan himpunan *fuzzy*-nya adalah

$$A = \{(x_1, \mu_A(x_1)), (x_2, \mu_A(x_2)), \dots, (x_n, \mu_A(x_n))\} \quad (2.4)$$

2. Dengan menyebut fungsi keanggotaan.

Misalkan himpunan *fuzzy* A didefinisikan dalam semesta X yang anggotanya bernilai kontinu, maka himpunan pasangan berurutan yang menyatakan himpunan *fuzzy*-nya adalah

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid \mu_A(x) = \dots, x \in X\} \quad (2.5)$$

3. Menuliskan sebagai

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \mu_A \frac{(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} \right\} = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n \mu_A(x_i)}{x_i} \right\} \quad (2.6)$$

untuk X diskrit, atau

$$A = \left\{ \int_x \mu_A(x)/x \right\} \quad (2.7)$$

untuk X kontinu. Lambang \int bukan berarti integral.

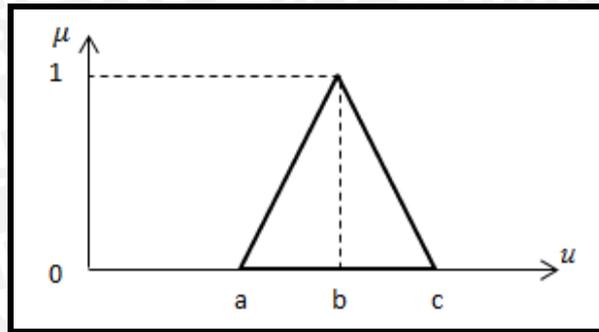
Fungsi keanggotaan suatu himpunan *fuzzy* dapat ditentukan dengan fungsi segitiga (*triangel*), trapesium (*trapezoidal*), atau Fungsi Gauss (*Gaussian*). (Yan, 1994)

- Fungsi keanggotaan segitiga.

Persamaan fungsi keanggotaan segitiga adalah

$$T(u; a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u-a}{b-a} & a \leq u \leq b \\ \frac{c-u}{c-b} & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases} \quad (2.8)$$

Persamaan tersebut direpresentasikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 2.7



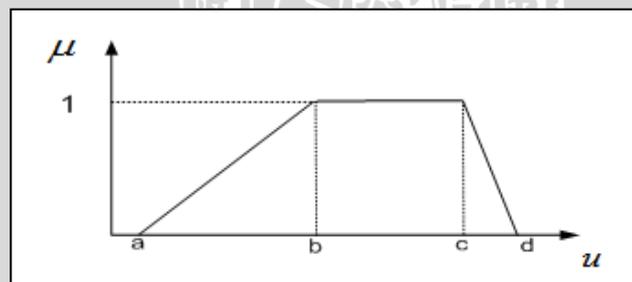
Gambar 2.7 Fungsi Keanggotaan Bentuk Segitiga

Sumber : Yan, 1994

- Fungsi keanggotaan bentuk trapesium persamaan fungsi keanggotaan trapesium adalah :

$$T(u; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u - a}{b - a} & a \leq u \leq b \\ 1 & b \leq u \leq c \\ \frac{d - u}{d - c} & c \leq u \leq d \\ 0 & d \leq u \end{cases} \quad (2.9)$$

Persamaan tersebut direpresentasikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 2.8



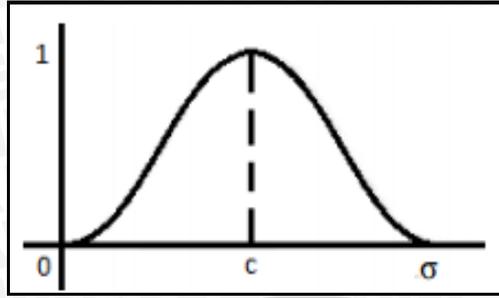
Gambar 2.8 Fungsi Keanggotaan Bentuk Trapesium

Sumber : Yan, 1994

- Fungsi keanggotaan gaussian Persamaan fungsi keanggotaan gaussian adalah

$$\mu(x, c, \sigma) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \quad (2.10)$$

Persamaan tersebut direpresentasikan dalam bentuk grafik yang bisa dilihat pada Gambar 2.9



Gambar 2.9. Fungsi Keanggotaan Gaussian

Sumber : Yan, 1994

2.5.3 Kontroler Logika Fuzzy

Sistem kendali logika fuzzy disebut juga sistem Inferensi Fuzzy (*Fuzzy Inference System/FIS*) atau *fuzzy inference engine* adalah sistem yang dapat melakukan penalaran dengan prinsip serupa seperti manusia melakukan penalaran dengan nalurinya. Terdapat beberapa jenis FIS yang dikenal yaitu Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto. FIS yang paling mudah dimengerti, karena paling sesuai dengan naluri manusia adalah FIS Mamdani. FIS tersebut bekerja berdasarkan kaidah-kaidah linguistik dan memiliki algoritma fuzzy yang menyediakan sebuah aproksimasi untuk dimasuki analisa matematik (Kusumadewi, S., 2003).

Metode Mamdani sering juga dikenal dengan nama metode Max-Min. metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Untuk mendapatkan *output* diperlukan beberapa tahapan, antara lain:

2.5.3.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah pemetaan nilai *input* yang merupakan nilai tegas ke dalam fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy*. Pada Metode Mamdani, baik variabel *input* maupun variabel *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*. Proses *fuzzifikasi* bertujuan untuk mengubah variabel non *fuzzy* (variabel numerik) menjadi variabel *fuzzy* (variabel linguistik). Nilai masukan yang masih dalam bentuk non *fuzzy* yang telah dikuantisasi sebelum diolah oleh pengendali logika *fuzzy* harus diubah terlebih dahulu ke dalam variabel *fuzzy*. Melalui fungsi keanggotaan yang telah disusun, maka dari nilai-nilai masukan tersebut menjadi informasi *fuzzy* yang berguna nantinya pada proses pengolahan secara *fuzzy*. Proses ini disebut fuzzifikasi (Yan, 1994). Proses fuzzifikasi dapat direpresentasikan sebagai berikut:

$$x = \text{fuzzifier}(x_0) \quad (2.11)$$

dengan:

- x_0 = nilai *crisp* variabel masukan
 x = himpunan *fuzzy* variabel yang terdefinisi
fuzzifier = operator fuzzifikasi yang memetakan himpunan *crisp* ke himpunan *fuzzy*.

Pedoman dalam pemilihan fungsi keanggotaan untuk proses *fuzzifikasi*, menurut Jun Yan, menggunakan :

1. Himpunan *fuzzy* dengan distribusi simetris.
2. Menggunakan himpunan *fuzzy* dengan jumlah ganjil, berkaitan erat dengan jumlah aturan (*rules*).
3. Mengatur himpunan *fuzzy* agar saling menumpuk.
4. Menggunakan fungsi keanggotaan bentuk segitiga atau trapesium.

2.5.3.2 Aturan Fuzzy (Fuzzy Rule)

Fuzzy rule merupakan representasi dari pengetahuan operator ahli yang berpengalaman, terhadap masukan pada suatu sistem yang direpresentasikan pada sekelompok variabel-variabel linguistik. (Yan, 1994).

2.5.3.3 Metode Inferensi MAX-MIN

Pada tahapan ini sistem terdiri dari beberapa aturan yang telah ditetapkan, maka dari itu *inferensi* diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Pada metode MIN-MAX dilakukan fungsi min pada implikasi dan fungsi max pada agregasi (output). Pada proses ini keputusan yang didapatkan masih dalam bentuk fuzzy yaitu derajat keanggotaan keluaran. (Yan, 1994).

Untuk implikasi *fuzzy* digunakan *inferensi MAX-MIN* yang secara umum dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\mu_C = \bigcup_1^n \alpha_i \wedge \mu_{Ci} \quad (2.12)$$

$$\text{dengan } \alpha_i = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0)$$

Sebagai contoh , terdapat dua basis kaidah atur *fuzzy*, yaitu :

R_1 : Jika x adalah A_1 dan y adalah B_1 maka z adalah C_1

R_2 : Jika x adalah A_2 dan y adalah B_2 maka z adalah C_2

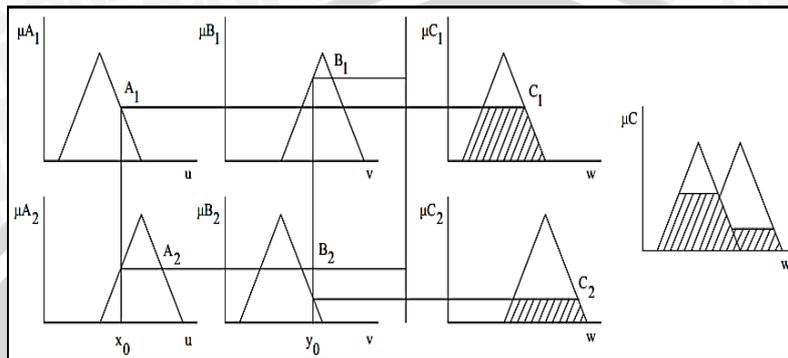
Pada metode *inferensi MAX-MIN* fungsi keanggotaan konsekuen dinyatakan dengan

$$\mu_{C_1}(W) = \mu_{c_1} \vee \mu_{c_2} = [\alpha_1 \wedge \mu_{c_1}(w)] \vee [\alpha_2 \wedge \mu_{c_2}(w)] \quad (2.13)$$

$$\text{dimana } \alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0) \quad (2.14)$$

$$\alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0) \quad (2.15)$$

Lebih jelas metode ini dideskripsi dalam Gambar 2.10



Gambar 2.10 Inferensi Metode MAX-MIN

Sumber : Yan, 1994

2.5.3.4 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses mendapatkan nilai *crisp* dari suatu himpunan *fuzzy* yang dihasilkan dari proses inferensi. *Input* dari proses *defuzzifikasi* adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai *output*. (Yan, 1994). Proses *defuzzifikasi* dinyatakan sebagai berikut :

$$y_0 = \text{defuzzifier}(y) \quad (2.16)$$

dengan:

y : aksi kontrol *fuzzy*

y_0 : aksi kontrol *crisp*

defuzzifier : operator *defuzzifikasi*

Defuzzifikasi dengan metode *Weighted average* (WA) didefinisikan sebagai berikut:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2.17)$$

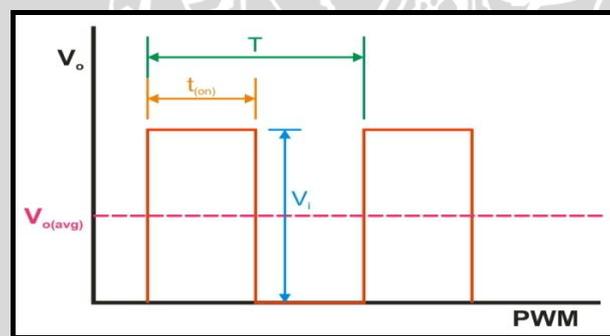
dengan:

- U = Keluaran
 w_i = Bobot nilai benar w_i
 u_i = Nilai linguistik pada fungsi keanggotaan keluaran
 n = Banyak derajat keanggotaan

2.6 PWM (*Pulse Width Modulation*)

Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu periode, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda.

Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Lebar Pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, Sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun *duty cycle* bervariasi (antara 0% hingga 100%). Dengan mengatur *duty cycle* akan diperoleh keluaran yang diinginkan. (Sulistiono, A., 2010) Sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) secara umum dapat dilihat dalam Gambar 2.11 berikut.



Gambar 2.11 Sinyal PWM Secara Umum

Sumber: Sulistiono, A., 2010

$$Duty\ cycle = \frac{T_{on}}{T} \times 100\% \dots (\%) \quad (2.18)$$

Dengan:

T_{on} = Periode logika tinggi

T = Periode keseluruhan

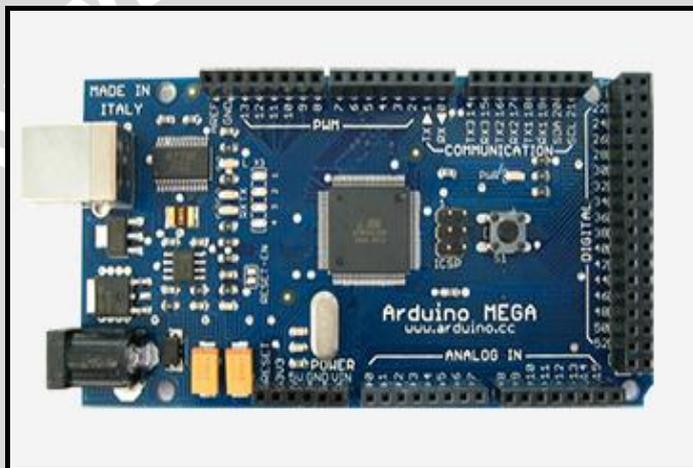
$$V_{dc} = Duty\ cycle \times V_{cc} \dots (V) \quad (2.19)$$

Sedangkan frekuensi sinyal dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$f_{0n} = \frac{f_{clk} 1/0}{N.256} \dots (Hz) \quad (2.20)$$

2.7 Mikrokontroler Arduino mega 2560

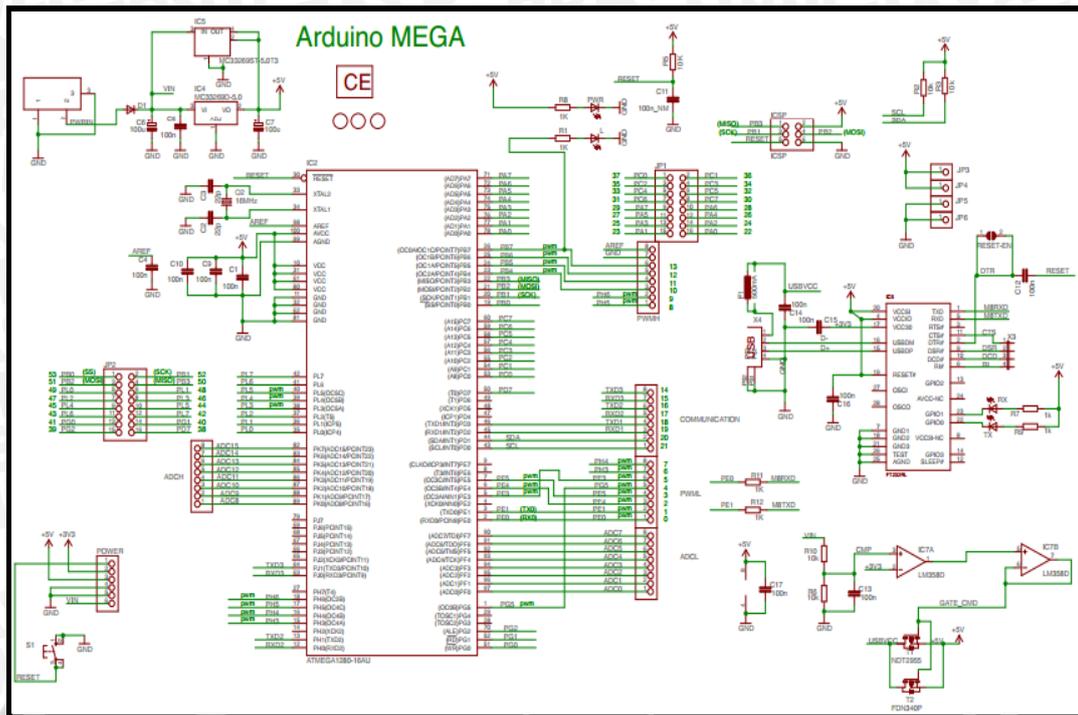
Arduino mega 2560 adalah *board* arduino Mega versi terbaru, yang merupakan perbaikan dari *board* terdahulunya yaitu arduino Mega 1280. Arduino mega 2560 memiliki 54 digital *input / output* (dengan 14 pin yang dapat digunakan sebagai *output* PWM (*Pulse Width Modulation*)), 16 input analog, 4 UART (*Universal Asynchronous Receiver / Transmitter*), kristal 16 MHz osilator, koneksi USB, *jack* listrik, *header* ICSP (*in-circuit serial programming*), dan tombol *reset*. *Board* ini sudah sangat lengkap, sudah memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan untuk sebuah mikrokontroler. Dengan penggunaan yang cukup sederhana, tinggal menghubungkan power dari USB ke PC atau melalui adaptor AC/DC ke *jack* DC. (Arduino Mega 2560 Datasheet). Arduino mega 2560 secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Arduino Mega 2560

Sumber: Arduino Mega 2560 Datasheet.

Konfigurasi kaki I/O dari Arduino Mega 2560 ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Desain Sistem Arduino Mega2560

Sumber: Arduino Mega 2560 Datasheet

2.7.1 Daya

Board Arduino Mega 2560 dapat diberi tegangan dengan power yang diperoleh dari koneksi kabel USB, atau via *power supply* eksternal. Pilihan power yang digunakan akan dilakukan secara otomatis.

External power supply dapat diperoleh dari adaptor AC-DC atau bahkan baterai, melalui *jack* DC yang tersedia, atau menghubungkan langsung GND dan pin Vin yang ada di *board*. *Board* dapat beroperasi dengan power dari *external power supply* yang memiliki tegangan antara 6V hingga 20V. Namun ada beberapa hal yang harus anda perhatikan dalam rentang tegangan ini. Jika diberi tegangan kurang dari 7V, pin 5V tidak akan memberikan nilai murni 5V, yang mungkin akan membuat rangkaian bekerja dengan tidak sempurna. Jika diberi tegangan lebih dari 12V, regulator tegangan bisa *over heat* yang pada akhirnya bisa merusak pcb. Dengan demikian, tegangan yang di rekomendasikan adalah 7V hingga 12V. (Arduino Mega 2560 Datasheet).

Beberapa pin power pada Arduino Mega 2560 :

- GND. Ini adalah *ground* atau negatif.
- Vin. Ini adalah pin yang digunakan jika anda ingin memberikan *power* langsung ke *board* Arduino dengan rentang tegangan yang disarankan 7V - 12V.
- Pin 5V. Ini adalah pin *output* dimana pada pin tersebut mengalir tegangan 5V yang telah melalui regulator.
- 3,3v. Ini adalah pin *output* dimana pada pin tersebut disediakan tegangan 3.3V yang telah melalui regulator.
- IOREF. Ini adalah pin yang menyediakan referensi tegangan mikrokontroler. Biasanya digunakan pada *board shield* untuk memperoleh tegangan yang sesuai, apakah 5V atau 3.3V.

2.7.2 Memori

Chip ATmega2560 pada Arduino Mega 2560 Revisi 3 memiliki memori 256 KB, dengan 8 KB dari memori tersebut telah digunakan untuk *bootloader*. Jumlah SRAM 8 KB, dan EEPROM 4 KB, yang dapat di baca-tulis dengan menggunakan EEPROM *library* saat melakukan pemrograman. (Arduino Mega 2560 Datasheet).

2.7.3 Input dan Output

Arduino Mega 2560 memiliki jumlah pin terbanyak dari semua papan pengembangan Arduino. Arduino Mega 2560 memiliki 54 buah digital pin yang dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, dengan menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Pin-pin tersebut bekerja pada tegangan 5V, dan setiap pin dapat menyediakan atau menerima arus sebesar 20mA, dan memiliki tahanan *pull-up* sekitar 20-50k ohm (secara *default* dalam posisi *disconnect*). Nilai maximum adalah 40mA, yang sebisa mungkin dihindari untuk menghindari kerusakan *chip* mikrokontroler. (Arduino Mega 2560 Datasheet).

Beberapa pin memiliki fungsi khusus :

- **Serial**, memiliki 4 serial yang masing-masing terdiri dari 2 pin. Serial 0 : pin 0 (RX) dan pin 1 (TX). Serial 1 : pin 19 (RX) dan pin 18 (TX). Serial 2 : pin 17 (RX) dan pin 16 (TX). Serial 3 : pin 15 (RX) dan pin 14 (TX). RX digunakan untuk menerima dan TX untuk transmit data serial TTL. Pin 0 dan pin 1 adalah pin yang digunakan oleh *chip* USB-to-TTL ATmega16U2.

- **External Interrupts**, yaitu pin 2 (untuk *interrupt* 0), pin 3 (*interrupt* 1), pin 18 (*interrupt* 5), pin 19 (*interrupt* 4), pin 20 (*interrupt* 3), dan pin 21 (*interrupt* 2). Dengan demikian Arduino Mega 2560 memiliki jumlah *interrupt* yang cukup melimpah yaitu 6 buah. Gunakan fungsi `attachInterrupt()` untuk mengatur *interrupt* tersebut.
- **PWM (Pulse Width Modulation)** : Pin 2 hingga 13 dan 44 hingga 46, yang menyediakan *output* PWM 8-bit dengan menggunakan fungsi `analogWrite()`.
- **SPI (Serial Peripheral Interface)** : Pin 50 (MISO) *Master In Slave Out*, 51 (MOSI) *Master Out Slave In*, 52 (SCK) *Serial Clock*, dan 53 (SS) *Slave Select*, mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan *SPI Library*.
- **LED (Light Emitting Diode)** : Pin 13. Pada pin 13 terhubung *built-in led* yang dikendalikan oleh digital pin no 13. Set *HIGH* untuk menyalakan led, *LOW* untuk memadamkan nya.
- **TWI (two wire interface)** : Pin 20 (SDA) serial data dan pin 21 (SCL) serial clock yang mendukung komunikasi TWI dengan menggunakan *Wire Library*.

Arduino Mega 2560 memiliki 16 buah input analog. Masing-masing pin analog tersebut memiliki resolusi 10 bits (jadi bisa memiliki 1024 nilai). Secara default, pin-pin tersebut diukur dari *ground* ke 5V, namun bisa juga menggunakan pin AREF dengan menggunakan fungsi `analogReference()`. (Arduino Mega 2560 Datasheet). Beberapa input lainnya pada *board* ini adalah :

- **AREF**. Sebagai referensi tegangan untuk *input analog*.
- **Reset**. Hubungkan ke *LOW* untuk melakukan reset terhadap mikrokontroler. Sama dengan penggunaan tombol reset yang tersedia.

2.7.4 Komunikasi

Arduino Mega 2560 memiliki beberapa fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, berkomunikasi dengan Arduino lainnya, atau dengan mikrokontroler lain nya. *Chip* Atmega2560 menyediakan komunikasi serial UART TTL (5V) yang tersedia di pin 0 (RX) dan pin 1 (TX). *Chip* ATmega16U2 yang terdapat pada *board* berfungsi menterjemahkan bentuk komunikasi ini melalui USB dan akan tampil sebagai *Virtual Port* di komputer. *Firmware* 16U2 menggunakan *driver* USB standar sehingga tidak membutuhkan *driver* tambahan.

Pada Arduino *Software* (IDE) terdapat monitor serial yang memudahkan data textual untuk dikirim menuju Arduino atau keluar dari Arduino. Led TX dan RX akan

menyala berkedip-kedip ketika ada data yang ditransmisikan melalui *chip* USB to Serial via kabel USB ke komputer. Untuk menggunakan komunikasi serial dari digital pin, gunakan *Software Serial library*.

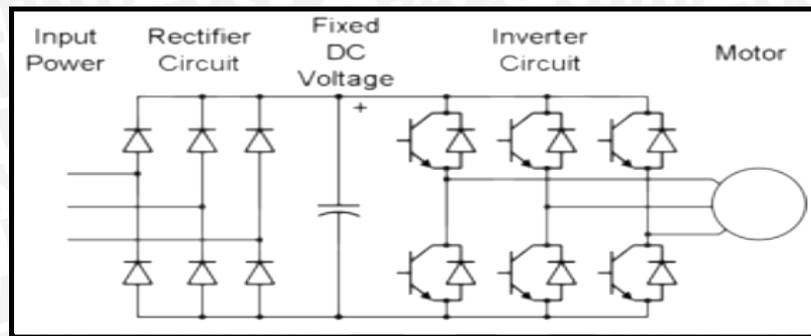
Chip ATmega2560 juga mendukung komunikasi I2C (TWI) dan SPI. Di dalam Arduino Software (IDE) sudah termasuk *Wire Library* untuk memudahkan dalam menggunakan bus I2C. Untuk menggunakan komunikasi SPI, gunakan *SPI library*. (Arduino Mega 2560 Datasheet).

2.8 Variable Frequency Drive

Inverter adalah sebuah alat yang mengubah listrik arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Dengan menggunakan *transformator*, *switching*, serta rangkaian kontrol tegangan dan frekuensi yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Dikarenakan hasil yang didapatkan berupa tegangan atau frekuensi yang dapat diatur, maka *inverter* dapat diaplikasikan sebagai pengatur kecepatan rotasi sebuah motor listrik AC. Aplikasi ini dikenal dengan sebutan *Variable Frequency Drive* (VFD). Sebuah *Variable Frequency Drive* adalah suatu sistem untuk mengendalikan kecepatan rotasi motor listrik arus bolak-balik (AC) dengan mengendalikan frekuensi listrik yang diberikan ke motor.

Variable Frequency Drive mengubah tegangan bolak balik (AC) dari *input* menjadi tegangan searah (DC) oleh *AC/DC converter/ rectifier*, kemudian di-filter untuk menghaluskan hasil penyearah tegangan tersebut. Setelah didapatkan listrik DC yang murni, langkah berikutnya adalah mengubah Listrik DC menjadi listrik AC dengan rangkaian inverter. Inverter sebenarnya berisi rangkaian flip-flop yang melakukan pensaklaran secara bergantian terhadap listrik DC sehingga menghasilkan listrik AC. (Muhammad, R., 2016).

Bentuk gelombang yang dihasilkan dengan rangkaian inverter bisa gelombang kotak atau gelombang sinus. Untuk menghasilkan Listrik AC dari *output* rangkaian inverter dengan gelombang sinus diperlukan rangkaian PWM (*Pulse Width Modulator*). Rangkaian ini yang akan mencacah listrik DC menjadi listrik AC dalam bentuk gelombang mendekati sinus dengan frekuensi tertentu sesuai keinginan. Untuk skema rangkaian VFD dapat dilihat pada Gambar 2.14



Gambar 2.14 Skema Rangkaian Variable Frequency Drive

Sumber: Muhammad, R., 2016.

2.9 Motor induksi 3 Fasa

Motor induksi merupakan salah satu peralatan yang banyak digunakan di Industri untuk keperluan penggerak berbagai proses yang ada di industri diantaranya adalah Pompa, Kompresor, *Fan*, *Blower*, *Konveyor*, dan penggerak proses produksi lainnya. Hal ini disebabkan karena motor induksi memiliki banyak keunggulan dibanding motor sinkron atau motor DC yaitu konstruksi sederhana, tahan lama, perawatan mudah dan efisiensinya tinggi. Dibalik keunggulannya terdapat juga kelemahan yaitu dalam hal pengaturan kecepatan dan torsi awal yang rendah. Untuk mengatasi permasalahan ini dapat digunakan Sistem kontrol dengan mengatur Tegangan *input* dan Frekuensinya untuk mendapatkan pengaturan kecepatan dan torsi sesuai dengan kebutuhan proses produksi di Industri. pengaturan kecepatan dapat menggunakan Inverter VFD.

Parameter yang dibutuhkan dari motor induksi adalah pengaturan kecepatan dan torsi motor. Untuk itu dibutuhkan pengaturan yang fleksibel dengan cara mengubah frekuensi pada input dari 50 Hz (Standar PLN) menjadi frekuensi yang diinginkan agar motor dapat berputar pada kecepatan yang diinginkan. (Yusnita, 2012). Gambar motor induksi 3 fasa ditunjukkan dalam Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Motor Induksi 3 Fasa

Sumber : www.electrical4u.com

2.10 Sensor Hall effect

Sensor *hall effect* digunakan untuk memantau kecepatan (RPM). Sensor *Hall Effect* adalah transduser yang bervariasi tegangan *output* sebagai respon terhadap medan magnet. Sensor *Hall Effect* digunakan untuk beralih kedekatan, posisi, kecepatan deteksi, dan aplikasi penginderaan saat ini. Dalam bentuk yang paling sederhana, sensor beroperasi sebagai transduser analog, langsung kembali tegangan.

Sensor *Hall effect* sering dikombinasikan dengan sirkuit yang memungkinkan perangkat untuk bertindak digital (*on / off*) modus, dan dapat disebut *switch* dalam konfigurasi ini. Sering terlihat dalam aplikasi industri seperti *silinder pneumatik* yang digambarkan, mereka juga digunakan dalam peralatan konsumen, misalnya beberapa printer komputer menggunakannya untuk mendeteksi kertas hilang dan penutup yang terbuka. Ketika keandalan yang tinggi diperlukan, mereka digunakan dalam *keyboard*.

Sensor *Hall effect* biasanya digunakan untuk waktu kecepatan roda dan poros, seperti untuk mesin pembakaran *internal* yang waktu pengapian, takometer dan sistem pengereman *anti-lock*. Mereka digunakan dalam *brushless* DC motor listrik untuk mendeteksi posisi magnet permanen. Dalam roda digambarkan dengan dua magnet sama spasi, tegangan dari sensor akan mencapai puncaknya dua kali untuk setiap revolusi. Susunan ini biasanya digunakan untuk mengatur kecepatan *disk drive*.

Hall effect tergantung pada beda potensial (tegangan *Hall*) pada sisi yang berlawanan dari sebuah lembar tipis material konduktor atau semikonduktor di mana arus listrik mengalir, dihasilkan oleh medan magnet yang tegak lurus dengan *elemen Hall*. Perbandingan tegangan yang dihasilkan oleh jumlah arus dikenal dengan tahanan *Hall*, dan tergantung pada karakteristik bahan. Dr. Edwin Hall menemukan efek ini pada tahun 1879. *Hall Effect* dihasilkan oleh arus pada konduktor. Arus terdiri atas banyak beban kecil yang membawa partikel-partikel (biasanya elektron) dan membawa gaya Lorentz pada medan magnet. Beberapa beban ini berakhir di sisi-sisi konduktor. Ini hanya berlaku pada konduktor besar di mana jarak antara dua sisi cukup besar. Salah satu yang paling penting dari *Hall Effect* adalah perbedaan antara beban positif bergerak dalam satu arah dan beban negatif bergerak pada kebalikannya. *Hall Effect* memberikan bukti nyata bahwa arus listrik pada logam dibawa oleh elektron yang bergerak, bukan oleh proton. Yang cukup menarik, *Hall Effect* juga menunjukkan bahwa dalam beberapa substansi (terutama semikonduktor), lebih cocok bila berpikir arus sebagai “holes” positif yang bergerak daripada elektron. (WELLS Manufacturing Corp, 1999).

Dengan mengukur tegangan Hall yang melalui bahan, dapat ditentukan kekuatan medan magnet yang ada. Hal ini bisa dirumuskan:

$$V_H = \frac{I B}{n e d} \quad (2.21)$$

Dimana:

V_H = tegangan yang melalui lebar pelat

I = arus yang melalui panjang pelat

B = medan magnet

n = kerapatan elektron pembawa

e = elektron

d = tebal pelat

Sensor ini tidak seperti sensor magnetik lain yang menghasilkan arus bolak-balik (AC) dengan sinyal tegangan yang bervariasi nilainya. Sensor *hall effect* menghasilkan sinyal tegangan DC konstan yang dapat berubah dari tegangan maksimum lalu kembali ke tegangan nol. Sensor *hall effect* biasanya memiliki tiga kabel terminal yaitu *ground*, *supply*, dan *output*. Untuk menghasilkan sinyal *output*, sensor *hall effect* harus dicatu dengan tegangan referensi dari sumber (5V sampai 12V, tergantung pada aplikasi). *Supply* tegangan diperlukan untuk kerja yang berlangsung di dalam sensor.

