

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Logika *Fuzzy*

1. Pengertian Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* diperkenalkan pertama kali pada tahun 1965 oleh Prof Lutfi A. Zadeh seorang peneliti di Universitas California di Berkley dalam bidang ilmu komputer. Professor Zadeh beranggapan logika benar salah tidak dapat mewakili setiap pemikiran manusia, kemudian dikembangkanlah logika *fuzzy* yang dapat mempresentasikan setiap keadaan atau mewakili pemikiran manusia. Perbedaan antara logika tegas dan logika *fuzzy* terletak pada keanggotaan elemen dalam suatu himpunan. Jika dalam logika tegas suatu elemen mempunyai dua pilihan yaitu terdapat dalam himpunan atau bernilai 1 yang berarti benar dan tidak pada himpunan atau bernilai 0 yang berarti salah. Sedangkan dalam logika *fuzzy*, keanggotaan elemen berada di interval $[0,1]$.

Logika *fuzzy* menjadi alternatif dari berbagai sistem yang ada dalam pengambilan keputusan karena logika *fuzzy* mempunyai kelebihan sebagai berikut:

- a. Logika *fuzzy* memiliki konsep yang sangat sederhana sehingga mudah untuk dimengerti.
- b. Logika *fuzzy* sangat fleksibel, artinya mampu beradaptasi dengan perubahan-perubahan dan ketidakpastian.
- c. Logika *fuzzy* memiliki toleransi terhadap data yang tidak tepat.
- d. Logika *fuzzy* mampu mensistemkan fungsi-fungsi non-linier yang sangat kompleks.
- e. Logika *fuzzy* dapat mengaplikasikan pengalaman atau pengetahuan dari para pakar.
- f. Logika *fuzzy* dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.

g. Logika *fuzzy* didasarkan pada bahasa sehari-hari sehingga mudah dimengerti.

Logika *fuzzy* memiliki beberapa komponen yang harus dipahami seperti himpunan *fuzzy*, fungsi keanggotaan, operator pada himpunan *fuzzy*, inferensi *fuzzy* dan defuzzifikasi.

2. Himpunan Tegas

Himpunan tegas adalah suatu kumpulan dari obyek-obyek yang didefinisikan secara jelas. Artinya obyek-obyek tersebut dapat ditentukan dengan jelas keberadaannya. Obyek yang ada dalam himpunan itu disebut elemen atau anggota himpunan. Pada umumnya, himpunan disimbolkan dengan alfabet kecil. Notasi " $a \in A$ " dibaca a anggota himpunan A dan notasi " $a \notin A$ " a bukan anggota himpunan A . (Sukirman, 2006:116). Suatu elemen himpunan tegas A (misal a) hanya mempunyai dua kemungkinan, yaitu termasuk dan tidak termasuk pada himpunan A . Dua kemungkinan tersebut direpresentasikan pada bilangan biner 0 dan 1. Jika $a \in A$ maka elemen tersebut bernilai 1. Jika $a \notin A$ maka elemen tersebut bernilai 0. Nilai atau derajat keanggotaan suatu himpunan tegas dinotasikan dengan $\mu(x)$. Jika x termasuk dalam himpunan A maka $\mu(x) = 1$, dan jika sebaliknya maka $\mu(x) = 0$. (Sri, 2002:19).

Contoh 2.1.

Jika $S = \{Celsius, Reamur, Fahrenheit, Kelvin\}$ maka dapat dikatakan bahwa: $\mu(Reamur) = 1$ karena $Reamur \in S$, $\mu(Kelvin) = 1$ karena $Kelvin \in S$, dan $\mu(Suhu) = 0$ karena $Suhu \notin S$.

3. Himpunan fuzzy

Himpunan *fuzzy* merupakan perkembangan dari himpunan tegas. Himpunan tegas adalah himpunan yang nilai keanggotaan dari elemennya hanya mempunyai dua kemungkinan derajat keanggotaan yaitu :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & ; \text{jika } x \in A \\ 0 & ; \text{jika } x \notin A \end{cases} \quad (2.1)$$

dengan μ_A adalah fungsi karakteristik dari himpunan A . Sedangkan pada himpunan *fuzzy* derajat keanggotaan untuk setiap elemennya terletak dalam interval $[0,1]$.

Definisi 2.1 (Wang, 1997:21)

Suatu himpunan *fuzzy* pada himpunan semesta U dapat dinyatakan dengan nilai fungsi keanggotaan pada interval $[0,1]$.

Suatu himpunan *fuzzy* A pada himpunan semesta U dapat dinyatakan dengan himpunan pasangan terurut elemen x dan nilai keanggotaanya (Wang, 1997: 22). Secara matematis pernyataan tersebut dapat ditulis dengan:

$$A = \{(x, \mu_A(x) | x \in U)\} \quad (2.2)$$

Definisi 2.2 (Klir, Clair & Yuan, 1997: 75)

Misalkan U adalah himpunan tak kosong. Himpunan *fuzzy* A di himpunan *universal* U didefinisikan dengan fungsi keanggotaan

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

dan $\mu_A(x)$ menyatakan derajat keanggotaan dari elemen x pada himpunan *fuzzy* A untuk setiap $x \in U$.

Apabila suatu elemen x dalam suatu himpunan A memiliki derajat keanggotaan *fuzzy* 0 atau dapat ditulis $\mu_A(x) = 0$ artinya x bukan anggota himpunan A , dan jika memiliki derajat keanggotaan *fuzzy* 1 atau $\mu_A(x) = 1$ artinya x merupakan anggota penuh dari himpunan A .

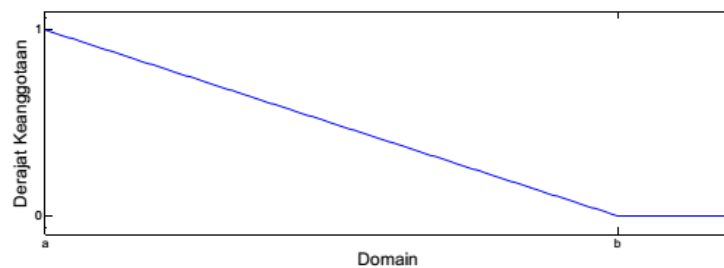
4. Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan merupakan fungsi yang memetakan elemen suatu himpunan ke nilai keanggotaan pada interval $[0,1]$. Fungsi keanggotaan yang membedakan himpunan *fuzzy* dengan himpunan tegas. Fungsi keanggotaan dapat direpresentasikan dengan berbagai cara, namun yang paling umum dan banyak dipakai dalam sistem yang dibuat berdasarkan logika *fuzzy* adalah representasi secara analitik.

Pemodelan yang tepat dibutuhkan karena model *fuzzy* sensitif terhadap jenis pendeskripsian himpunan *fuzzy*. Terdapat berbagai jenis pendeskripsian himpunan *fuzzy*, namun fungsi keanggotaan yang digunakan pada penelitian penulis yaitu representasi linier, segitiga dan trapesium.

a. Representasi kurva linier

Representasi paling sederhana dalam fungsi keanggotaan yaitu representasi linier yang digambarkan sebagai suatu garis lurus. Keadaan himpunan *fuzzy* linier ada dua. Pertama, himpunan mengalami penurunan dari derajat keanggotaan satu bergerak ke kanan menuju derajat keanggotaan yang lebih rendah menuju nol. Hal tersebut tampak pada Gambar 2.1.



Gambar. 2.1. Representasi Kurva linier turun

Fungsi keanggotaan linier turun:

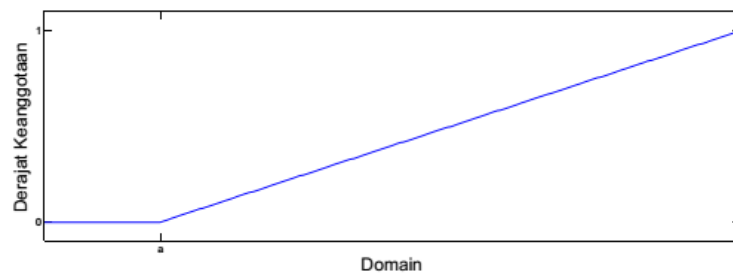
$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 0, & x \geq b \end{cases} \quad (2.4)$$

Keterangan :

a = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

b = derajat keanggotaan terbesar dalam domain

Kedua, himpunan mengalami kenaikan dari derajat keanggotaan nol bergerak ke kanan menuju derajat keanggotaan yang lebih tinggi menuju satu. Hal tersebut tampak pada Gambar 2.2.



Gambar. 2.2. Representasi Kurva linier naik

Fungsi keanggotaan linier naik:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & x = b \end{cases} \quad (2.5)$$

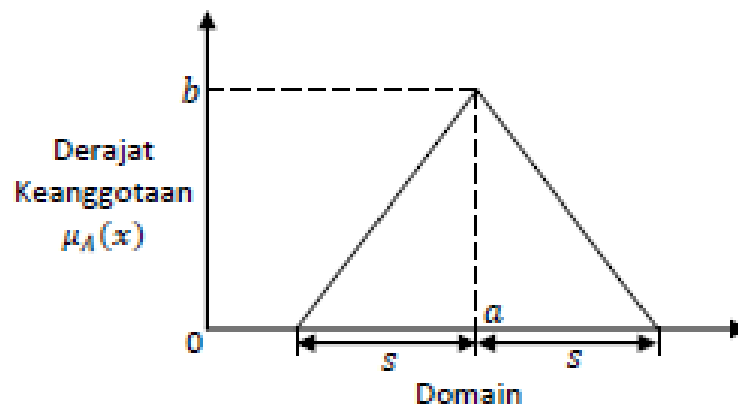
Keterangan :

a = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

b = derajat keanggotaan terbesar dalam domain

b. Representasi kurva segitiga

Representasi kurva segitiga merupakan gabungan dari representasi linier (Klir, Clair & Yuan, 1997: 83-86). Representasi kurva segitiga dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Representasi Kurva Segitiga

Fungsi keanggotaan dari representasi segitiga, adalah :

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (2.6)$$

Keterangan :

a = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

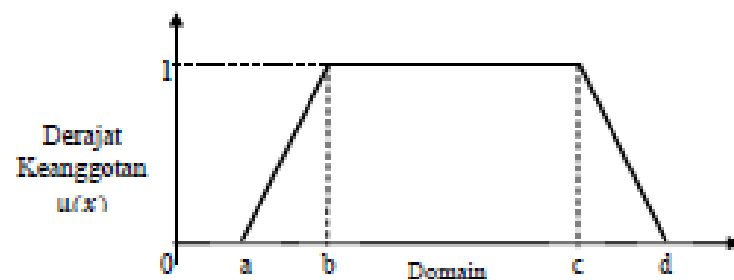
b = derajat keanggotaan terbesar dalam domain

c = nilai domain terbesar saat derajat keanggotaan terkecil

c. Representasi kurva trapesium

Representasi kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan

1. Representasi kurva trapesium dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4. Representasi Kurva Trapesium

Fungsi keanggotaan untuk representasi kurva trapesium, adalah :

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \end{cases} \quad (2.7)$$

5. Operasi Pada Himpunan *Fuzzy*

Operasi dasar pada himpunan *fuzzy* ada tiga, yaitu: komplemen, gabungan, dan irisan. Berikut definisi dari ketiga operasi tersebut:

Definisi 2.5 Operasi dasar komplemen (Klir, 1997:90)

Diberikan himpunan *fuzzy*A pada himpunan semesta *U*, komplemen dari himpunan *fuzzy*A adalah \bar{A} atau A^c didefinisikan sebagai

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x), \forall x \in U \quad (2.8)$$

Contoh 2.2.

Misalkan $\mu_A(x) = 0,24$ maka

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) = 1 - 0,24 = 0,76.$$

Definisi 2.6. Operasi dasar gabungan (Klir, 1997:92)

Diberikan himpunan semesta *U* dan dua himpunan *fuzzy* A dan B pada *U*.

Operasi dasar gabungan A dan B ditulis $A \cup B$ didefinisikan dengan

$$\mu_{(A \cup B)}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)], \forall x \in U \quad (2.9)$$

Contoh 2.3.

Misalkan $\mu_A(x) = 0,24$ dan $\mu_B(x) = 0,5$

$$\text{maka } \mu_{(A \cup B)}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \max[0,24 \ 0,5] = 0,5$$

Definisi 2.7. Operasi dasar irisan (Klir, 1997: 93)

Diberikan dua himpunan *fuzzy* A dan B pada himpunan semesta *U*. Operasi

dasar gabungan A dan B ditulis $A \cap B$ didefinisikan dengan persamaan

$$\mu_{(A \cap B)}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)], \forall x \in X \quad (2.10)$$

Contoh 2.4.

Misalkan $\mu_A(x) = 0,24$ dan $\mu_B(x) = 0,5$ maka

$$\mu_{(A \cap B)}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \min[0,24 \ 0,5] = 0,24$$

Operator dasar gabungan bisa disimbolkan dengan \cup atau ditulis dengan “OR” sedangkan operator dasar irisan bisa disimbolkan dengan \cap atau ditulis dengan “AND”.

B. Sistem Fuzzy

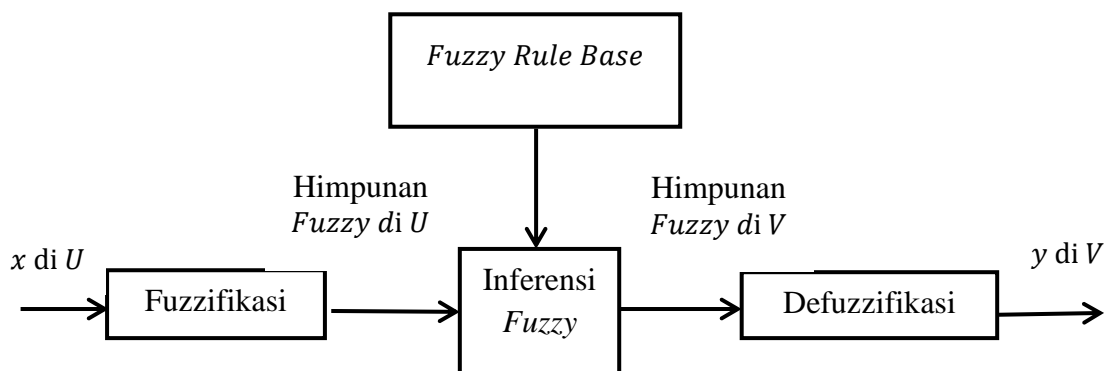
Sistem *fuzzy* merupakan sistem berdasarkan aturan himpunan *fuzzy*. Beberapa keistimewaan sistem *fuzzy* (Wang, 1997: 6), yaitu:

1. Sistem *fuzzy* cocok digunakan pada sistem pemodelan karena variabelnya bernilai real.
2. Sistem *fuzzy* menyediakan kerangka yang digunakan untuk menggabungkan aturan-aturan *fuzzy* jika-maka yang bersumber dari pengalaman manusia.
3. Terdapat berbagai pilihan dalam menentukan fuzzifier dan defuzzifier sehingga dapat diperoleh sistem *fuzzy* yang paling sesuai dengan model.

Elemen dasar dalam sistem *fuzzy* (Wang, 1997:89):

1. Basis kaidah (*rule base*), berisi aturan-aturan secara linguistik yang bersumber dari para pakar.
2. Mekanisme pengambil keputusan (*inference engine*), merupakan bagaimana para pakar mengambil suatu keputusan dengan menerapkan pengetahuan (*knowledge*).
3. Proses fuzzifikasi (*fuzzification*), yaitu mengubah nilai dari himpunan tegas ke nilai *fuzzy*.
4. Proses defuzzifikasi (*defuzzification*), yaitu mengubah nilai *fuzzy* hasil inferensi menjadi nilai tegas.

Susunan pada sistem *fuzzy* ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Susunan Sistem Fuzzy (Wang, 1997)

Penjelasan tahapan sistem *fuzzy* adalah sebagai berikut:

1. Fuzzifikasi

Menurut Wang (1997:105), fuzzifikasi didefinisikan sebagai pemetaan dari himpunan tegas ke himpunan *fuzzy*. Kriteria yang harus dipenuhi pada proses fuzzifikasi adalah semua anggota pada himpunan tegas harus termuat dalam himpunan *fuzzy*, tidak terdapat gangguan pada *input* sistem *fuzzy* yang digunakan harus bisa mempermudah perhitungan pada sistem *fuzzy*.

2. Aturan Fuzzy

Aturan yang digunakan pada himpunan *fuzzy* adalah aturan *if-then*. Aturan *fuzzy IF-THEN* merupakan pernyataan yang direpresentasikan dengan

$$IF < \text{proposisi fuzzy} > THEN < \text{proposisi fuzzy} > \quad (2.11)$$

Proposisi *fuzzy* dibedakan menjadi dua, proposisi *fuzzy atomic* dan proposisi *fuzzy compound*. Proposisi *fuzzy atomic* adalah pernyataan single dimana x sebagai variabel linguistik dan A adalah himpunan *fuzzy* dari x . Proposisi *fuzzy compound* adalah gabungan dari proposisi *fuzzy atomic* yang dihubungkan dengan operator “or”, “and”, dan “not”. (Wang, 1997:62-63).

Contoh 2.5.

x is P , x is Q , dan x is R adalah contoh dari proposisi *fuzzy atomic*. x is P or x is not R dan x is Q and x is R adalah contoh dari proposisi *fuzzy compound*.

Secara sederhana Sri dan Hari (2013: 28) mendefinisikan aturan *fuzzy* sebagai:

$$IF x_1 \text{ is } A_1^k \text{ and } A_2^k \dots THEN y^k \text{ is } B^k \quad (2.12)$$

untuk $k = 1, 2, \dots, n$, A_1^k dan A_2^k menyatakan himpunan *fuzzy* pasangan anteseden ke- k , dan B^k adalah himpunan *fuzzy* konsekuen ke- k .

3. Inferensi Fuzzy

Inferensi *fuzzy* merupakan tahap evaluasi pada aturan *fuzzy*. Tahap evaluasi dilakukan berdasarkan penalaran dengan menggunakan *input fuzzy* dan aturan *fuzzy* sehingga diperoleh *output* berupa himpunan *fuzzy*.

Berikut akan dijelaskan macam inferensi *fuzzy* yaitu metode Mamdani, Tsukamoto dan Sugeno yang sering digunakan dalam berbagai penelitian. (Sri dan Hari, 2013: 31-75) :

a. Metode Mamdani

Metode Mamdani pertama kali diperkenalkan oleh Ibrahim Mamdani pada tahun 1975. Metode ini merupakan metode yang paling sederhana dan paling sering digunakan untuk penelitian dibandingkan metode yang lain. *Input* dan *output* pada metode mamdani berupa himpunan *fuzzy* (Sri, 2002:98). Metode Mamdani menggunakan fungsi implikasi min dan agregasi max sehingga metode Mamdani juga disebut dengan metode *MIN-MAX (min-max inferencing)*. Keluaran untuk n aturan metode Mamdani didefinisikan sebagai

$$\mu_{B^k}(y) = \max[\min[\mu_{A_1^k}(x_i), \mu_{A_2^k}(x_j)]]_k \quad (2.13)$$

untuk $k = 1, 2, \dots, n$, A_1^k dan A_2^k menyatakan himpunan *fuzzy* pasangan anteseden ke- k , dan B^k adalah himpunan *fuzzy* konsekuen ke- k . (Sri dan Hari, 2013).

b. Metode Tsukamoto

Metode Tsukamoto merupakan metode dimana konsekuen dari aturan *fuzzy*-nya direpresentasikan dengan fungsi keanggotaan yang monoton.

c. Metode Sugeno

Berbeda dengan metode Mamdani, metode Sugeno juga menggunakan himpunan *fuzzy* pada *inputnya*. Akan tetapi, *output* yang digunakan pada metode Sugeno adalah konstanta atau

persamaan linier. Metode ini pertama kali dikenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985 (Sri, 2002:98). Jika pada metode Mamdani proses defuzzifikasi menggunakan agregasi daerah kurva, maka pada metode Sugeno agregasi berupa *singleton-singleton*.

4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses yang berkebalikan dengan proses pada fuzzifikasi. Wang (1997:108) mendefinisikan defuzzifikasi sebagai pemetaan dari himpunan *fuzzy* (B) ke himpunan tegas. Himpunan *fuzzy* yang dimaksud disini adalah hasil *output* yang diperoleh dari hasil inferensi. Pada proses defuzzifikasi ada tiga kriteria yang harus dipenuhi yaitu masuk akal, perhitungannya sederhana dan kontinu. Berikut adalah beberapa metode yang digunakan untuk proses defuzzifikasi (Sri, 2002:98-99).

a. Metode Centroid

Metode Centroid disebut juga metode *Center of Gravity* atau metode pusat luas (*Center of Area, CoA*). Proses defuzzifikasi pada metode Centroid adalah dengan mengambil nilai titik pusat (x^*) dari daerah pada fungsi keanggotaan B . Rumus metode centroid (Wang, 1997:107) didefinisikan sebagai

$$x^* = \frac{\int_x x \mu_B(x) dx}{\int_x \mu_B(x) dx} \quad (2.14)$$

untuk domain kontinu, dan

$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu_B(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_B(x_i)} \quad (2.15)$$

untuk domain diskrit.

Selain mudah dalam perhitungan, keuntungan menggunakan metode centroid adalah nilai defuzzy bergerak halus sehingga perubahan dari suatu topologi himpunan *fuzzy* ke topologi himpunan *fuzzy* berikutnya juga bergerak secara halus.

b. Metode bisektor

Metode bisektor mengambil nilai pada domain himpunan *fuzzy* yang memiliki nilai keanggotaan pada daerah *fuzzy* sebagai solusi tegas, dan didefinisikan sebagai:

$$x_p = \int_a^p \mu(x)dx = \int_p^b \mu(x)dx \quad (2.16)$$

Dengan $a = \min(x: x \in X)$ dan $b = \max(x: x \in X)$ sedangkan $p = x$ yang membagi daerah inferensi menjadi dua bagian yang sama besar.

c. Metode *Mean of Maximum* (MOM)

Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

d. Metode *Largest of Maximum* (LOM)

Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

e. Metode *Smallest of Maximum* (SOM)

Solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

C. Pengujian Sistem *Fuzzy*

Tahap pengujian dilakukan untuk menguji apakah diagnosis yang dilakukan sudah sesuai atau belum. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini dengan menghitung keakurasian sistem. Keakurasian sistem didapat dari perbandingan antara hasil jumlah data yang sesuai dengan kenyataan dengan jumlah seluruh data. Secara matematis dapat dinyatakan dengan formula (A'yun; 2015: 51):

$$Akurasi = \frac{\text{jumlah data benar}}{\text{jumlah seluruh data}} \times 100\% \quad (2.17)$$

Kesalahan pada sistem didapat berdasarkan data masukan. Besar kesalahan dapat diketahui dengan cara:

$$Kesalahan = 100\% - Akurasi \quad (2.18)$$

Sistem *fuzzy* dengan tingkat keakurasian yang tinggi dianggap mampu mewakili diagnosis suatu permasalahan. Dalam hal ini, sistem *fuzzy* tersebut untuk diagnosis campuran bahan bakar dan udara pada mobil F15 GURT.

D. Toolbox Fuzzy Pada Matlab (Matrix Laboratory)

1. Pengertian MATLAB

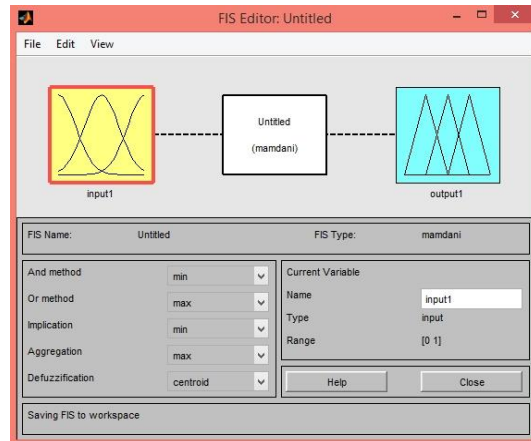
Matlab (*Matrix Laboratory*) merupakan perangkat lunak yang digunakan sebagai bahasa pemrograman tingkat tinggi. Matlab digunakan untuk komputasi, visualisasi dan pemrograman. Matlab telah digunakan oleh peneliti-peneliti dari berbagai wilayah di dunia. Sampai saat ini program-program pada matlab masih terus diperbaharui. Pemrograman pada Matlab sering digunakan untuk pengembangan algoritma matematika dan pengembangan, pensisteman, simulasi dan *prototype*, analisis, eksplorasi dan visualisasi data, *scientific* dan *engineering*, pengembangan aplikasi berbasis grafik dan pembuatan *Graphical User Interface* (GUI).

2. Fuzzy Logic Toolbox

Fuzzy Logic Toolbox adalah sekumpulan tool yang membantu dalam merancang model *fuzzy* untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang. *Fuzzy logic toolbox* menyediakan lima tools untuk keperluan rancang bangun FIS (Agus, 2009: 39):

a. Fuzzy Inference System (FIS) Editor

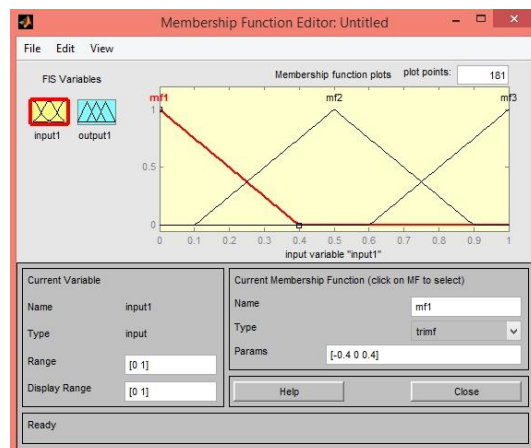
Merupakan tampilan awal pada *toolbox fuzzy*. Cara menampilkannya adalah dengan menuliskan *fuzzy* pada *command window*. Pada *FIS editor* hal yang harus diperhatikan adalah memilih inferensi *fuzzy* yang diinginkan. Tampilan *FIS editor* ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Tampilan FIS editor

b. *Membership Function*

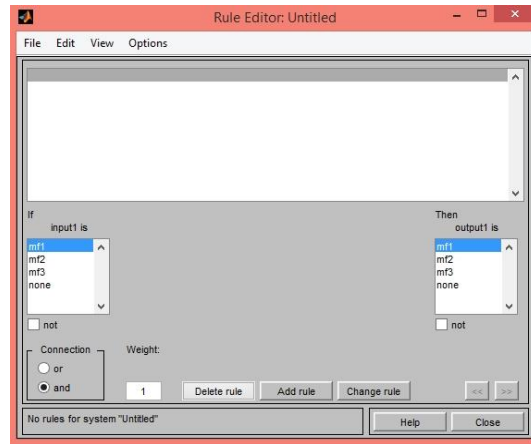
Mempunyai fungsi mengedit tiap fungsi keanggotaan pada *input* (anteseden) dan *output* (konsekuen), atau klik *input* atau *output* dua kali. Tampilan *membership function editor* ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Membership Function Editor

c. *Rule Editor*

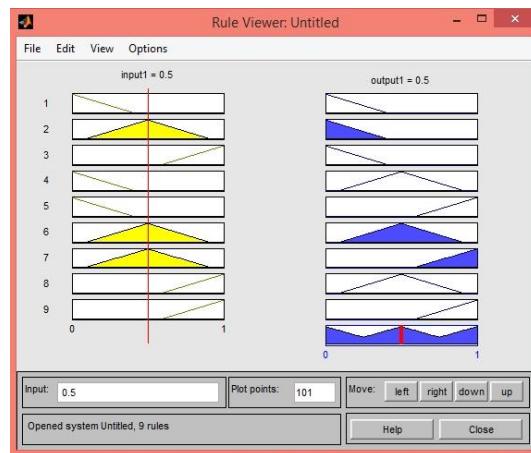
Berfungsi untuk mengedit aturan yang akan atau telah disusun. Cara menampilkan *rule editor* adalah klik edit – rules. Tampilan *rule editor* ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Rule Editor

d. *Rule Viewer*

Berfungsi untuk menampilkan grafik *input* dan *output*. *Rule viewer* juga digunakan untuk memetakan tiap *input* sehingga diketahui hasil *output* berdasarkan data masukan. Cara menampilkan *rule viewer* dengan klik view – rules atau klik ctrl+5. Tampilan *rule viewer* ditunjukkan pada Gambar 2.9.

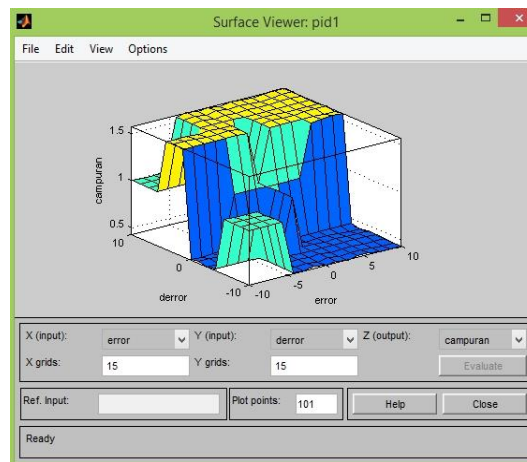


Gambar 2.9 Rule Viewer

e. *Surface Viewer*

Berfungsi untuk menampilkan hasil pemetaan semua variabel *input* ke variabel *output*. Cara memanggil tampilan ini adalah dengan

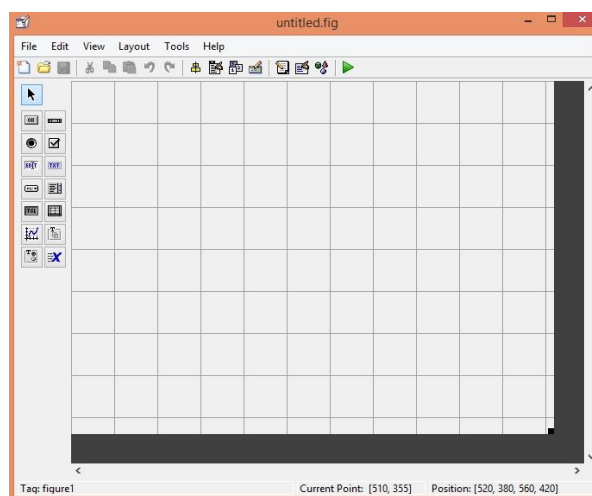
mengklik view-surface atau klik ctrl+6. Tampilan *surface viewer* ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10.Surface Viewer

3. *Graphical User Interface (GUI)*

GUI adalah suatu media visual yang membuat pengguna memberikan perintah tertentu pada komputer tanpa mengetik perintah tersebut, tetapi menggunakan gambar yang tersedia (Vicky, 2012: 1). Keunggulan GUI Matlab yaitu GUI dapat dimunculkan dari Matlab dengan mengetikkanguide pada *command window* lalu pilih Blank GUI (*Default*) untuk menampilkan halaman baru. Tampilan awal pada GUI terlihat dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Halaman baru GUI

E. Pembakaran

Pembakaran diawali dengan loncatan busi pada akhir langkah pemampatan (Arends dan Berenschot, 1980: 60). Mesin membutuhkan kombinasi bensin dan udara dengan suhu ideal agar terjadi pembakaran sempurna. Pembakaran yang terjadi selama proses pembakaran terbagi menjadi dua macam, yaitu pembakaran normal dan pembakaran tidak normal.

1. Pembakaran Normal

Proses ini terjadi apabila penyalaan campuran udara dan bahan bakar diakibatkan oleh percikan bunga api yang berasal dari busi. Nyala api akan menyebar secara merata dalam ruang bakar dengan kecepatan normal sehingga campuran udara dan bahan bakar terbakar pada suatu periode yang sama.

Tekanan gas yang diakibatkan oleh proses ini akan merata (tanpa fluktuasi tekanan) dalam ruang bakar. Pembakaran berlangsung sebelum akhir langkah kompresi dan diakhiri sesaat setelah melewati titik mati atas. Suhu dalam ruang bakar berkisar 2100K – 2500K (1800°C - 2200°C).

2. Pembakaran Tidak Normal

Proses ini terjadi apabila sebagian campuran udara dan bahan bakar mengalami penyalaan sendiri yang tidak disebabkan oleh percikan bunga api dari busi. Hal ini dikarenakan temperatur campuran bahan bakar udara terlalu tinggi yang disebabkan hasil dari langkah kompresi, hingga mencapai titik nyalanya, sehingga menyebabkan campuran tersebut akan menyala dengan sendirinya. Titik panas pada permukaan ruang bakar yang menimbulkan percikan api dengan sendirinya baik sebelum ataupun sesudah penyalaan disebut dengan *detonasi*.

F. Bahan Bakar

Bahan bakar merupakan suatu senyawa yang mengandung unsur hidrokarbon. Bahan bakar yang beredar di pasaran berasal dari minyak bumi beserta turunannya yang kemudian diolah menjadi berbagai macam dan jenis

bahan bakar. Bahan bakar diperlukan dalam proses pembakaran yang terjadi di ruang bakar.

Bahan bakar yang digunakan motor bakar harus memenuhi kriteria sifat fisik dan sifat kimia, antara lain :

1. Nilai bakar bahan bakar itu sendiri
2. Densitas energi yang tinggi
3. Tidak beracun
4. Stabilitas panas
5. Rendah polusi
6. Mudah dipakai dan disimpan

Bahan bakar yang digunakan dalam motor bakar dapat dibedakan menurut wujudnya menjadi 3 kelompok, yaitu gas, cair, dan padat. Bahan bakar gas berasal dari gas alam, sedangkan bahan bakar cair berasal dari hasil penyulingan minyak bumi dan bahan bakar padat berupa batu bara.

Kriteria bahan bakar yang digunakan dalam motor bakar adalah sebagai berikut:

1. Proses pembakaran bahan bakar dalam silinder cepat dan panas yang dihasilkan tinggi.
2. Bahan bakar yang digunakan tidak meninggalkan endapan atau deposit setelah proses pembakaran, karena akan menyebabkan kerusakan pada dinding silinder.
3. Gas sisa pembakaran tidak berbahaya pada saat dilepaskan ke atmosfer.

Bahan bakar cair khususnya bensin adalah senyawa hidrokarbon yang kandungan oktana atau isooktananya tinggi. Rumus kimia dari bensin adalah C_nH_m dengan perbandingan atom hidrogen dan karbon $1,6 < H/C < 2,1$. Penelitian ini menggunakan jenis bensin Pertamax. Pertamax direkomendasikan bagi kendaraan yang memiliki teknologi injeksi. Pertamax memiliki rumus kimia yaitu $C_{10}H_{24}$. Keunggulan menggunakan Pertamax yaitu :

1. Pertamax memiliki RON yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar minyak jenis lainnya, kecuali Pertamax Plus, yakni 92.

2. Pertamax memiliki tingkat *knocking* atau denotasi yang cenderung lebih stabil dikarenakan memiliki nilai RON mencapai di atas 90. Hal ini bermanfaat saat pembakaran pada mesin sehingga bisa mencegah kerusakan pada mesin.
3. Mesin yang menggunakan Pertamax dengan kandungan gas CO_x dan NO_x yang dihasilkan dari pembakaran mesin lebih sedikit apabila dibandingkan dengan Premium.

G. Konsep Reaksi Pembakaran

Reaksi pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen diperoleh dari udara yang menghasilkan panas dan gas sisa pembakaran yang berlangsung dalam waktu yang cepat. Suhu suatu tempat sangat berpengaruh terhadap pembakaran normal. Semakin dingin suhu udara suatu tempat, maka kerapatan partikel udara semakin padat yang mengakibatkan penambahan waktu injeksi bahan bakar. Diperlukan pengaturan pada sistem agar dapat menyesuaikan dengan suhu lingkungan sekitarnya sehingga dapat terjadi pembakaran. Hasil dari reaksi pembakaran bergantung dari kualitas pembakaran yang terjadi. Reaksi oksidasi dalam proses pembakaran adalah sebagai berikut:

Karbon + Oksigen = Karbon dioksida + panas

Hidrogen + Oksigen = uap air + panas

Pembakaran akan dikatakan sempurna apabila campuran bahan bakar dan oksigen (dari udara) mempunyai perbandingan yang tepat (*stoichiometric*), sehingga tidak diperoleh sisa. Apabila oksigen banyak dan bahan bakar sedikit, campuran dikatakan *lean* dan hasil pembakarannya menghasilkan api oksidasi. Sebaliknya, apabila oksigen sedikit dan bahan bakar banyak, campuran dikatakan *rich* dan hasil pembakarannya menghasilkan api reduksi. Campuran bahan bakar dan udara tersebut dinyalakan dalam silinder oleh bunga api dari busi.

Persamaan reaksi pembakaran adalah sebagai berikut



Keterangan:

C = Carbon

H = Hidrogen

O = Oksigen

m,n = massa atom

p = jumlah mol

Persamaan untuk menentukan massa molekul rata-rata senyawa C_nH_m dengan Ar merupakan atom relatif adalah

$$\text{massa molekul rata-rata } C_nH_m = n \times \text{Ar C} + m \times \text{Ar H} \quad (2.20)$$

Persamaan untuk menentukan massa molekul rata-rata senyawa O_2 adalah

$$\text{massa molekul rata-rata } O_2 = p \times 2 \times \text{Ar O} \quad (2.21)$$

H. Perbandingan Udara dengan Bahan Bakar

Bahan bakar yang masuk ke dalam silinder merupakan bahan bakar yang mudah terbakar agar dapat menghasilkan efisiensi konversi energi dan tenaga maksimal. Pembakaran bahan bakar akan mudah dilakukan bila komposisi campuran udara dan bahan bakar tepat dan butiran sangat kecil atau bensin dalam bentuk gas (Solikin dan Sutiman, 2005: 106).

Perbandingan udara dengan bahan bakar yang tepat memungkinkan terjadi pembakaran sempurna, sehingga:

1. Pemakaian bahan bakar ekonomis karena efisiensi konversi energi maksimal.
2. Polusi gas buang rendah karena semua bahan bakar terbakar.
3. Performa kendaraan tinggi karena tenaga yang dihasilkan besar.

Perbandingan udara dan bahan bakar yang ideal adalah 15,1 gr udara dengan 1 gr bahan bakar, perbandingan ideal sering disebut dengan perbandingan *stoichiometric*. Perbandingan udara dan bahan bakar tergantung pada temperatur dan kondisi kerja mesin. Jika suhu terlalu dingin, ECU secara otomatis memperbanyak asupan bensin ke ruang bakar untuk mencapai suhu ideal.

Persamaan untuk menentukan perbandingan antara udara dengan bahan bakar atau sering disebut *Air Fuel Ratio* (AFR) adalah

$$AFR = \frac{\text{massa molekul rata - rata O}_2}{\text{massa molekul rata - rata C}_n\text{H}_m} = \frac{p \times 2 \times \text{Ar O}}{n \times \text{Ar C} + m \times \text{Ar H}} \quad (2.22)$$

Udara mengandung beberapa unsur, yaitu Nitrogen sebesar 78,08%, Oksigen sebesar 20,95% dan Argon sebesar 0,97%. Massa atom Nitrogen (N₂) sebesar 14,01, Oksigen (O₂) sebesar 16 dan Argon (A) sebesar 39,95. Massa atom unsur yang lain terlampir pada Lampiran 10. Persamaan untuk menentukan massa rasio oksigen pada *gasoline* adalah

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{kandungan O}_2 \text{ dalam udara} \times 2 \times \text{Ar O}}{\sum_i^n \text{kandungan senyawa } i \text{ dalam udara} \times 2 \times \text{Ar senyawa } i}; i=1,2,\dots,n \\ &= \frac{20,95\% \times 2 \times \text{Ar O}}{78,08\% \times 2 \times \text{Ar N} + 20,95\% \times 2 \times \text{Ar O} + 0,97\% \times \text{Ar A}} \quad (2.23) \end{aligned}$$

Persamaan untuk mendapatkan jumlah udara sesungguhnya yaitu perbandingan antara AFR dengan massa rasio O₂ pada *gasoline*, dengan bahasa matematis sebagai berikut:

$$\text{Jumlah udara sesungguhnya} = \frac{\text{AFR}}{\text{massa rasio O}_2 \text{ pada } \textit{gasoline}} \quad (2.24)$$

Lambda (λ) adalah perbandingan antara jumlah udara sesungguhnya dan teori *stoichiometric*, dimana teori *stoichiometric* adalah 15,1:1. *Lambda* (λ) dirumuskan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\text{Jumlah udara sesungguhnya}}{\text{Teori } \textit{Stoichiometric}} \quad (2.25)$$

Nilai dari *lambda* (λ) memiliki 3 klasifikasi, yaitu:

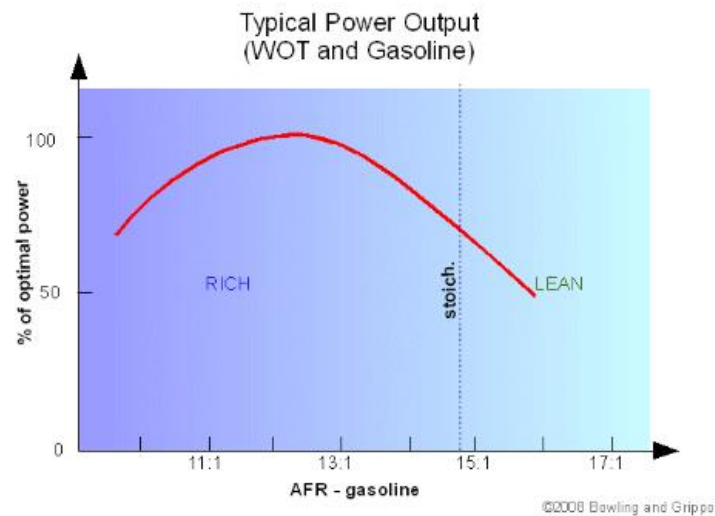
$\lambda = 1$ → berarti campuran ideal atau *stoichiometric*

$\lambda > 1$ → berarti campuran *lean* (sedikit bahan bakar)

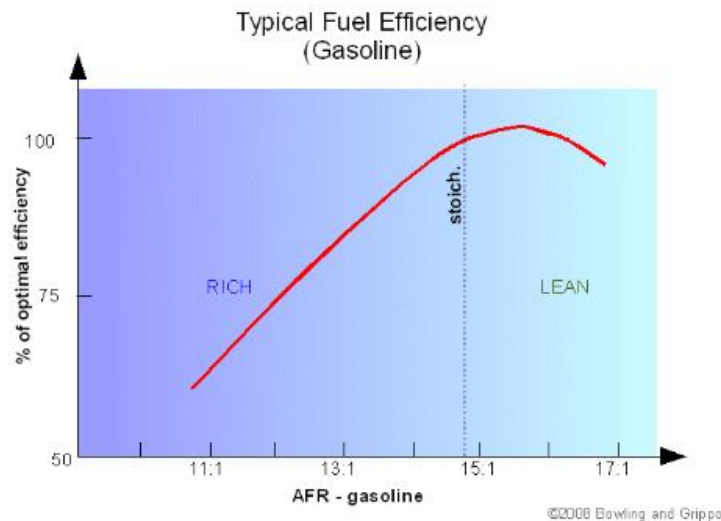
$\lambda < 1$ → berarti campuran *rich* (banyak bahan bakar)

Jika oksigen yang dibutuhkan tercukupi, bahan bakar hidrokarbon dapat dioksidasi secara sempurna. Karbon didalam bahan bakar kemudian berubah menjadi karbon dioksida(CO₂) dan hidrogen (H) berubah menjadi uap air (H₂O). Jika jumlah udara yang diberikan kurang dari yang dibutuhkan

secara *stoichiometric* maka akan terjadi campuran kaya akan bahan bakar. Produk dari campuran kaya akan bahan bakar adalah CO, CO₂, H₂O, dan HC (Hidrokarbon tidak terbakar). Jika jumlah udara yang diberikan lebih besar dari kebutuhan maka akan terjadi campuran miskin bahan bakar. Pengaruh campuran bahan bakar dan udara terhadap power mesin ditunjukkan pada Gambar 2.12. Sedangkan pengaruh campuran bahan bakar dan udara terhadap efisiensi bahan bakar ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.12. Pengaruh campuran bahan bakar dan udara terhadap power



Gambar 2.13. Pengaruh campuran bahan bakar dan udara terhadap efisiensi

I. *Electronic Control Unit*

Electronic Control Unit (ECU) adalah alat kontrol elektronik yang berfungsi untuk mengendalikan serangkaian *actuator* pada mesin pembakaran dalam, seperti: *ignition* dan *injection*. ECU merupakan otak dari suatu kendaraan yang telah di-*computerized*. Selain sebagai fungsi kontrol, ECU juga berfungsi sebagai alat sistem keamanan pada suatu kendaraan. Apabila terdapat kejanggalan, maka sensor akan mengirimkan sinyal kepada ECU untuk mematikan seluruh sistem yang ada pada kendaraan tersebut.

ECU memiliki tiga bagian utama, yaitu: mikrokontroler, *memory sistem* dan *power supply sistem*. Kegiatan proses data yang diambil dari sensor terjadi pada mikrokontroler ECU secara aritmatik dan logika, yaitu: operasi logika, *sequential*, *timer*, *counter* dan *Analog to Digital Converter* (ADC) serta mengendalikan kerja sistem secara keseluruhan. Mikrokontroler ECU akan menghitung sinyal yang masuk dari pulser (*Crankshaft position sensor*) secara *timer* dan *counter* sehingga dapat menentukan waktu pengapian yang tepat dan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan mesin sesuai dengan RPM kendaraan.

Beberapa sensor dalam ECU yaitu:

1. *Manifold Absolute Pressure Sensor* (MAP Sensor)

MAP sensor mengukur jumlah udara yang masuk ke dalam silinder berdasarkan tekanan udara pada *intake manifold*.

2. *Inlet Air Temperature Sensor* (IAT Sensor)

IAT sensor berfungsi untuk mendeteksi temperatur udara yang masuk ke dalam silinder. Sensor IAT merupakan thermistor, yaitu resistor yang nilainya tahanan berubah sesuai temperatur.

3. *Engine Temperature Sensor* (ET Sensor)

ET sensor berfungsi untuk mendeteksi temperatur mesin.

Hasil data yang diproses oleh ECU akan dikeluarkan berupa sinyal digital untuk menjalankan *actuator*. Lamanya waktu pengapian dan *injector* untuk menginjeksikan bahan bakar akan sesuai dengan perhitungan di dalam mikrokontroler ECU. Media komunikasi ECU dengan alat antarmuka yaitu

Laptop, Komputer atau *Handphone*. Peningkatan kinerja mesin terdapat ECU merupakan pilihan yang efisien karena dengan memainkan variasi dari waktu timing dan campuran udara dan bahan bakar akan menghasilkan daya yang optimal dari suatu mesin. Motec M400 adalah salah satu *Electronic Control Unit* (ECU) yang berfungsi untuk mengatur proses pembakaran pada sebuah mesin. M400 juga memiliki sebutan *Electronic Management System* (EMS) karena fungsinya untuk manajemen proses pembakaran pada sebuah mesin kendaraan. Proses pembakaran meliputi pengaturan waktu pengapian, waktu injeksi bahan bakar, dan durasi injeksi bahan bakar.

Pengaturan waktu pengapian dilakukan untuk mendapatkan titik ledakan bahan bakar saat piston sebelum mencapai Titik Mati Atas (TMA) / *Top Dead Center* (TDC). Sehingga saat piston akan menekan keatas, terjadi ledakan yang mengakibatkan piston terdorong ke bawah. Semakin tinggi kecepatan mesin, maka sudut timing pengapian semakin mundur sehingga dikenal dengan istilah *Before Top Dead Center* (BTDC). Untuk motor standar saat idle *Before Top Dead Center* (BTDC) sekitar 10°C . Sedangkan pada saat kecepatan tinggi, sudutnya menjadi 15°C - 20°C .

Pengaturan waktu injeksi dilakukan untuk mendapatkan titik penyemprotan bahan bakar saat katup *intake* terbuka. Apabila pengaturan timing injeksi terlalu mundur atau terlalu maju, maka bahan bakar tersebut akan terbuang dan tidak akan efisien. Penentuan lama penginjeksian bahan bakar diatur dengan pengaturan durasi injeksi. Pengaturan durasi injeksi dilakukan dengan 2 metode, yaitu *open loop* dan *close loop*.

Open loop adalah metode penentuan durasi bahan bakar berdasarkan beberapa input sensor seperti *Throttle Position Sensor* (TPS), *Manifold Absolut Pressure* (MAP), *Intake Air Temperature Sensor* (IATS), *Engine Temperature* (ET) / *Oil Temperature* (OT). Nilai lama durasi injeksi dimasukan ke dalam tabel bahan bakar yang ditentukan berdasarkan perubahan kondisi sensor. Pada tabel bahan bakar menggunakan metode kalkulasi untuk melakukan perhitungan durasi injeksi. Metode kalkulasi pada

tabel bahan bakar secara umum terdapat 2 metode, yaitu *Speed Density* (MAP *method*) dan *Alpha-N* (TPS *method*).

Close loop adalah metode penentuan durasi bahan bakar berdasarkan beberapa input sensor O_2 . Metode *close loop* menentukan besaran nilai perbandingan udara dan bahan bakar yang keluar atau sering disebut *Air Fuel Ratio* (AFR). Kadar Oksigen yang keluar dari knalpot akan ditentukan oleh O_2 . Semakin banyak Oksigen, maka campuran bahan bakarnya dapat dikatakan *Lean*. Sebaliknya, semakin sedikit kadar oksigen, maka campuran bahan bakarnya dapat dikatakan *Rich*.

Pada mobil F15 GURT, pengaturan ECU menggunakan metode *close loop*. Sebelum ECU menggunakan pengaturan *close loop*, pengaturan ECU menggunakan metode *open loop*. Metode kalkulasi yang digunakan ada 2. Pada kecepatan mesin 250 RPM sampai dengan 5.900 RPM menggunakan metode *Alpha-N* (TPS *method*). Sedangkan pada kecepatan 6.000 RPM sampai dengan 10.000 RPM menggunakan metode *Speed Density* (MAP *method*).



Gambar 2.14. Motec M400

J. Mobil F15

Mobil F15 merupakan mobil berbahan bakar *gasoline* dengan tipe mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*). Desain yang difokuskan pada mobil F15 terdapat pada kemudi yang ringan, suspensi yang kuat, dan sistem percepatan pada perpindahan gigi menggunakan *quick shifter*. Secara keseluruhan mobil F15 memiliki bobot 240 kg. Penampang mobil lebih

terdapat pada Lampiran 9. Beberapa bagian dari mobil F15 yaitu sebagai berikut:

1. *Powertrain*

Tujuan utama dari perencanaan dan pembuatan dalam sistem *powertrain* yaitu untuk meningkatkan performa pada kendaraan. Peningkatan sistem *powertrain* dapat menghasilkan daya kemampuan mengendarai yang handal. Target tenaga yang dihasilkan mencapai torsi maksimum 42 Nm pada 7000 RPM-9000 RPM. Target tersebut diharapkan memudahkan pada saat akselerasi sehingga waktu yang dihasilkan dapat sesingkat mungkin dan tenaga yang dihasilkan tidak tereduksi. Performa seimbang dengan efisiensi pembakaran, sehingga ketika performa tinggi maka efisiensi pembakaran juga tinggi.

2. Mesin

Mesin yang digunakan yaitu Husqvarna SM 630 dengan satu silinder berkapasitas 600cc dengan rasio kompresi 12,4:1. Bahan penyusunnya yang ringan dan juga *gear ratio* sesuai dengan kebutuhan tim untuk dapat menghasilkan torsi maksimum pada 4000 RPM - 6000 RPM. Husqvarna SM 630 merupakan mesin 4 langkah (4 tak) dengan satu silinder. Keuntungan dari mesin tersebut yaitu ringan, komponen lebih sedikit, dan tingkat mengendarai yang baik, terutama ketika keluar dari sudut (*manuver*) karena torsi besar dan tekanan perpindahan gigi berkurang. Pendinginan mesin mudah untuk menyempurnakan dan menjaga suhu konstan dengan termostat, sehingga menghasilkan mesin yang lebih efisien.

3. Kelistrikan

Sistem kelistrikan kendaraan menggunakan pengaturan dari ECU Motec M400 yang lebih baik daripada ECU motor yang asli. ECU Motec M400 diatur untuk meningkatkan ekonomi bahan bakar pada beban rendah dan daya maksimum pada beban tinggi. Penambahan bahan bakar saat

mesin masih dingin, suhu udara dan tekanan udara yang diprogram untuk berbagai kondisi. Traksi diprogram menggunakan Balai sensor efek, yang dipasang di setiap roda. Data yang diperoleh oleh ECU mesin dan *logged* bersama dengan informasi GPS dari unit *VBox* akuisisi data. Data ini membantu tim dalam pengaturan dari masing-masing komponen selama pengujian. Sumber daya ECU dari baterai 12 Volt. Untuk kontrol traksi roda empat yang digunakan *MOTEC Traction Control Multiplexer* (TCMux). TCMux digunakan untuk memberikan informasi tentang kecepatan keempat roda ke ECU. TCMux sensor yang terbaca pada keempat roda kemudian digunakan sebagai sinyal untuk dikirim ke ECU untuk membaca roda yang memiliki kekuatan, yang tidak dinyalakan dan slip.

4. *Intake and Exhaust*

Sistem masukan dan pembuangan udara merupakan sistem yang sangat penting dalam mesin kendaraan. Sistem akan mempengaruhi aliran udara yang masuk ke dalam silinder. Mesin terbatas terhadap *restrictor*, maka digunakan plenum. Tujuan penggunaan plenum untuk memenuhi udara sesuai dengan mesin kebutuhan saat putaran tinggi. Plenum bertujuan agar udara memasuki silinder dapat diarahkan sehingga turbulensi di dalam silinder dan maksimum volume. Hasil yang diperoleh yaitu efisiensi volumetrik yang lebih baik sehingga mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh mesin. Bentuk plenum yang dibuat adalah divergen silinder. Plenum terbuat dari bahan serat karbon. Volum pleno adalah 4,8 L. Perbandingan volume pleno diperoleh dari 8 kali volume silinder. Tenaga mesin juga dipengaruhi oleh sistem pembuangan. Oleh karena itu, digunakan peredam sesuai dengan karakteristik mesin kendaraan. Peredam yang digunakan adalah *Slip-On Silencer* yang mampu meningkatkan tenaga mesin, tetapi suaranya tidak terlalu keras.

5. Drivetrain

Mobil dilengkapi dengan penggerak elektrik datar yang berfungsi untuk memudahkan pembalap pada saat perubahan pengaturan gigi dengan singkat. Kendaraan ini menggunakan rantai untuk mentransfer tenaga dari mesin ke diferensial. Pasangan diferensial dengan sekat belakang juga sebagai pasangan mesin, sehingga rantai lebih sederhana dan mudah dalam penyetelan. Selain itu digunakan *Limit Slip Differential* (LSD) yang digunakan pada saat *manuver* dan tikungan dalam *dynamic events*.

6. Kemudi, Rem dan Suspensi

Roda yang digunakan memiliki diameter 10". Bertujuan untuk mendapatkan torsi lebih besar dari ukuran diameter yang lebih besar. Bahan yang digunakan adalah aluminium. Sistem kemudi yang dipilih berupa paduan *rack* dan tipe *pinion* karena sangat efektif untuk kendaraan balap dan juga ringan serta memiliki ukuran yang kecil. Pemasangan *rack* dan tipe *pinion* pada rangka dengan jarak 50 mm. Berat dari *rack* dan tipe *pinion* sekitar 300 gram. Kemudi roda terbuat dari aluminium dengan ketebalan 5mm dibentuk menggunakan mesin *Computer Numerical Control* (CNC). Pembuatan kemudi bertujuan memberikan tingkat ergonomi untuk pengemudi. *Upright* pada empat roda terbuat dari aluminium seri 7075 sehingga ringan dan proses manufaktur yang lebih sederhana, dengan kekuatan dan ketahanan terhadap keausan yang bagus.

7. Rangka

Desain rangka disesuaikan dengan pengemudi dan regulasi panitia SFJ 2015. Keamanan merupakan prioritas utama dalam desain kendaraan untuk menanggulangi kejadian yang tidak diinginkan seperti terjadi ledakan atau terbakarnya kendaraan saat dikendarai sehingga pengemudi dapat keluar dari kendaraan dengan waktu yang singkat. Desain rangka juga dirancang agar mampu menahan hantaman dari bagian depan, samping dan belakang. Penanggulan hantaman dari depan maka

dibutuhkan pemasangan *Impact Attenuator* dengan material yang berbentuk sarang lebah menggunakan bahan aluminium yang kuat. Kapasitas energi *Impact Attenuator* adalah 8,83371 kJ dengan metode pengujian fisik. Rangka kendaraan ini terbuat dari AISI 4130. Bahan ini dipilih karena kekuatannya dan ketika dilas menggunakan pengelas TIG memberikan hasil yang bagus. Untuk sekat belakang terbuat dari bahan aluminium seri 7075 karena ringan dan kuat sehingga akan memberikan berat keseluruhan kendaraan yang ringan. Rangka bagian belakang dibuat dengan bentuk yang sederhana agar memudahkan saat proses pembuatan menggunakan CNC dan biaya yang efektif.

8. *Body*

Body yang digunakan pada mobil F15 ini menggunakan bahan berupa serat karbon. Bahan ini dipilih karena kekuatan dan hasil yang bagus.

K. Garuda UNY *Racing Team* (GURT)

Universitas Negeri Yogyakarta menyediakan berbagai macam wadah bagi mahasiswanya untuk dapat mengembangkan minat dan bakat diluar perkuliahan dalam kelas. Salah satu organisasi yang disediakan oleh Universitas Negeri Yogyakarta adalah UKM yang merupakan lembaga kemahasiswaan tempat berhimpunnya para mahasiswa yang memiliki kesamaan minat, kreativitas, bakat, kegemaran, dan aktivitas penyaluran kegiatan ekstrakurikuler di dalam kampus. UKM merupakan organisasi kemahasiswaan yang mempunyai tugas merencanakan, melaksanakan, dan mengembangkan kegiatan ekstrakurikuler kemahasiswaan yang bersifat penalaran, minat dan kegemaran, kesejahteraan, dan minat khusus sesuai dengan tugas dan tanggung jawabnya. Salah satu UKM yang disediakan oleh UNY yaitu UKM Rekayasa Teknologi yang mana menaungi beberapa divisi didalamnya, salah satunya yaitu divisi mobil.

Garuda UNY *Racing Team* (GURT) merupakan suatu tim riset dan pengembangan teknologi yang telah dibentuk pada tahun 2013 untuk mengikuti kompetisi tingkat internasional. Tim ini merupakan pengembangan dari tim tingkat nasional yang pada tahun 2009-2012 mendapatkan juara umum selama 4 kali berturut-turut pada Kompetisi Mobil Listrik Indonesia (KMLI) yang diselenggarakan oleh Politeknik Negeri Bandung. Kemudian dilanjutkan dengan mengikuti *International Student Green Car Competition* (ISGCC) pada tahun 2013-2015. Selain ISGCC, event pertama kali yang diikuti oleh Garuda UNY *Racing Team* pada tahun 2015 yaitu SFJ 2015. SFJ adalah bagian dari FSAE series merupakan event tahunan yang diselenggarakan oleh JSAE yang ditujukan untuk para mahasiswa dari berbagai universitas di dunia untuk berkompetisi dalam merancang sebuah kendaraan formula. Universitas Negeri Yogyakarta mengirimkan satu perwakilan teamnya untuk mengikuti event SFJ 2015 dengan mobil yang diberi nama F15 dan nomor mobil 76 yang diselenggarakan di Ecopa Stadium (Ogasayama Sport Park), Shizuoka-ken, Japan pada tanggal 1-5 September 2015. Kompetisi ini dibagi 2 jenis yaitu *static events* dan *dynamic events*. *Static events* melombakan 3 kategori, yaitu Presentasi Perencanaan Bisnis, Presentasi Desain dan *Cost Analysis*. Sedangkan *dynamic events* melombakan lima kategori, yaitu *acceleration*, *skid-pad*, *autocross*, *endurance*, dan *efficiency*.

L. Penelitian-penelitian terlebih dahulu

Pengontrolan ECU yang optimal berpengaruh terhadap *efficiency* bahan bakar suatu kendaraan. Penelitian telah banyak dilakukan untuk menemukan hasil yang optimal dalam pengontrolan ECU. Berikut adalah beberapa penelitian yang membahas tentang pengontrolan ECU:

1. Jian-Min Sun, Ling-Hua Gao, dan Feng-Feng Yin (2015) melakukan penelitian pengontrolan *air fuel ratio* pada mesin di bawah kondisi muatan sebagian menggunakan algoritma kontrol PID dan analisa tes simulasi semi fisik pada sistem kontrol penutup mesin.

2. Marin, Hiticas, dan Mihon (2012) melakukan analisis perkembangan pada percikan pengapian dengan pengujian menggunakan Matlab menggunakan aplikasi sistem *fuzzy* logic yang menyatakan keuntungan perhitungan dengan presisi waktu injeksi dengan rumus matematika menyediakan peneliti untuk mengkalibrasi ECU pada mesin. Inferensi *fuzzy* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode Mamdani. *Output* dari penelitian ini berupa waktu injeksi bahan bakar. Penelitian ini melakukan perbandingan waktu injeksi dengan menggunakan 3 parameter, yaitu data dari pembacaan DDT2000, model dan kalkulasi matematika, dan *fuzzy logic contrller*.
3. Xiong, Yang dan Gou (2013) melakukan penelitian menggunakan integrasi *fuzzy* pengontrol senyawa PID yang dikembangkan untuk mesin LPG menggunakan MCU XC2787. Terdapat 2 input yang digunakan dalam algoritma *fuzzy*. Terdapat 7 klasifikasi pada output penelitian ini. Komputasi pada algoritma yang diusulkan menghasilkan pendemostrasian pada kontrol integrasi yang memiliki eror relatif sedikit ketika mesin diam. Kontrol *fuzzy* dapat memperbaiki respon langkah ketika mesin naik atau turun. Integrasi *fuzzy* pengontrol senyawa PID tidak hanya menghasilkan eror yang sedikit, tapi juga memiliki respon langkah yang bagus.
4. Yijun Dong, Kenji Takahata, dan Jianming Yang (2016) melakukan penelitian pengembangan sistem kontrol untuk biogas metana menggunakan ECU sebagai generator mesin.