

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas terselesaikannya buku diktat mata kuliah Fuzzy Logic sebagai pendukung jalannya proses belajar mengajar.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada rekan-rekan dosen di lingkungan Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik – Universitas Budi Luhur, yang telah membantu dalam menyelesaikan penyusunan buku diktat ini. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa isi maupun penyajian daripada buku ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk perbaikan selanjutnya.

Akhir kata penulis berharap semoga buku diktat ini dapat bermanfaat bagi para pembaca semuanya.

Jakarta, Agustus 2011

ttd

Penulis

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Daftar Isi.....	ii
BAB I Pendahuluan.....	1
1.1. Apa Yang Dimaksud Logika Fuzzy ?	1
1.2. Mengapa Menggunakan Logika Fuzzy	5
1.3. Watak Kekaburan	5
1.4. Kendala Perkembangan Teknologi Sistem Fuzzy.....	9
1.5. Sistem Kendali Fuzzy.....	13
1.6. Sistem Klasifikasi Fuzzy	17
1.7. Sistem Diagnosa Fuzzy	18
BAB II Dasar – Dasar Fuzzy Logic.....	20
2.1. Himpunan Fuzzy, Konvensional Set dan Fuzzy Set	22
2.2. Fuzzyfikasi dan Fungsi Keanggotaan	25
2.3. Evaluasi Rule.....	36
2.4. Defuzzyfikasi	46
2.5. Pengulangan Proses.....	52
BAB III Metode Defuzzyfikasi.....	54
3.1. Max Membership Principles	54
3.2. Centroids	56
3.3. Weighted Average Area	58
3.4. Mean Max Membership	57
3.5. Center of SUM	58
3.6. Center of Largest Area	62
3.7. First of Maxima.....	64
3.8. Soal Latihan.....	65

BAB IV	Sistem Kendali Dengan Fuzzy Logic	69
BAB V	Fuzzy Logic Matlab ToolBox	73
5.1.	FIS Editor	75
5.2.	MF Editor	77
5.3.	Rule Editor	79
5.4.	Rule Viewer.....	80
5.5.	Surface Viewer	81

Daftar Pustaka

BAB I

PENDAHULUAN

Dalam kehidupan sehari-hari, kita tidak dapat memisahkan sesuatu masalah dengan jawaban sederhana yaitu “ya” atau “tidak”. Sebagai contoh, untuk menyatakan seseorang berbadan “tinggi”, amat bersifat relatif. Demikian juga untuk menyatakan warna “abu-abu” yang merupakan campuran warna hitam dengan putih.

Pada tahun 1965, Zadeh memodifikasi teori himpunan dimana setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan yang bernilai kontinu antara 0 sampai 1. Himpunan ini disebut dengan Himpunan Kabur (Fuzzy Set).

Selama beberapa dekade yang lalu, hubungan fuzzy dan hubungannya dengan logika fuzzy telah digunakan pada lingkup domain permasalahan yang cukup luas. Lingkup ini antara lain mencakup kendali proses, klasifikasi dan pencocokan pola, manajemen dan pengambilan keputusan, riset operasi, ekonomi, dll. Sejak tahun 1985, terjadi perkembangan yang sangat pesat pada logika fuzzy tersebut terutama dalam hubungannya dengan penyelesaian kendali, terutama yang bersifat non-linear, ill-defined, time-varying, dan situasi yang sangat kompleks.

1.1. Apa yang dimaksud dengan Logika Fuzzy?

Orang yang belum pernah mengenal logika fuzzy pasti akan mengira bahwa logika fuzzy adalah sesuatu yang amat rumit dan tidak menakutkan. Namun, sekali orang mengenalnya, ia pasti akan tertarik dan akan menjadi pendatang baru untuk ikut serta mempelajari logika fuzzy. Logika fuzzy dikatakan logika baru yang lama, sebab ilmu tentang logika fuzzy modern dan metodis baru ditemukan beberapa tahun yang lalu, padahal sebenarnya konsep tentang logika fuzzy itu sendiri itu sudah ada pada diri kita sejak lama.

Logika fuzzy merupakan pengembangan dari teori himpunan fuzzy yang diprakarsai oleh Prof. Lofti Zadeh dari University California USA, pada tahun 1965. Logika fuzzy berbeda dengan logika digital biasa, dimana logika digital biasa hanya me-ngenal dua keadaan yaitu: Ya_Tidak atau ON_OFF atau High_Low atau "1"_"0". Sedangkan Logika Fuzzy meniru cara berpikir manusia dengan menggunakan konsep sifat kesamaran suatu nilai.

Pada Logika Fuzzy dapat memberikan suatu nilai dari nol secara kontinu sampai nilai satu. Perkembangan teori Logika Fuzzy telah menarik pakar sistem kendali untuk meman-faatkannya dalam pengendalian suatu sis-tem dalam bentuk algoritma algoritma otomatis yang dapat dinyatakan, seperti dalam pemakaian pengaturan lalu lintas, sistem transmisi otomatis, alat rumah tangga, industri dan lain-lainnya.

Logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input kedalam suatu ruang output. Sebagai contoh:

- Manajer pergudangan mengatakan pada manajer produksi seberapa banyak persediaan barang pada minggu ini, kemudian manajer produksi akan menetapkan jumlah barang yang harus diproduksi esok hari.
- Pelayan restoran memberikan pelayanan kepada tamu, kemudian tamu akan memberikan tip yang sesuai atas baik tidaknya pelayanan yang diberikan.
- Anda mengatakan kepada saya seberapa sejuk ruangan yang anda inginkan, saya akan mengatur putaran kipas yang ada pada ruangan ini.
- Penumpang taksi berkata pada sopir taksi seberapa cepat laju kendaraan yang diinginkan, sopir akan mengatur pijakan gasnya.

Penggunaan pengendali Logika Fuzzy dilaporkan sangat sesuai untuk sistem-sistem yang sulit di-pahami atau diwa- kilkan dengan suatu model matematik yang teliti, tetapi harus ada suatu operator, dalam hal ini manusia yang telah berpengalaman dan mampu me-ngendalikan sistem tersebut secara baik dan

memuaskan, serta dapat memberikan aturan-aturan pengendalian secara kualitatif dalam bentuk kalimat-kalimat Fuzzy.

Dalam perjalanan perkembangan suatu generasi teknologi menjadi lebih mantap dan berdaya guna tinggi, membutuhkan adanya pengembangan dasar pengetahuan dan dilakukannya berbagai macam riset atau penelitian yang bersifat eksperimental. Penelitian atau riset ini akan memberikan jawaban terhadap pertanyaan mendasar seperti : teori-teori apa saja yang masih secara praktis masih relevan untuk kemudian dikembangkan atau teori mana saja yang sama sekali tidak bisa digunakan lagi? Teori yang bermanfaat adalah teori yang dianggap mampu menjembatani penggabungan pengendali fuzzy dengan sistem kendali konvensional atau algoritma kendali modern seperti jaringan neural, algoritma genetik, dan lain sebagainya.

Pada generasi pertama teknologi fuzzy, terdapat beberapa kendala yang ditemui untuk mengembangkan pada industri-industri atau sistem kendali yang telah ada. Saat itu belum ada metodologi yang sistematis tentang aplikasi pengendali fuzzy, penentuan rancang bangun yang tepat, analisa permasalahan, dan bagaimana pengaruh perubahan parameter sistem terhadap kualitas unjuk kerja sistem. Jadi tidak bisa diharapkan suatu rancang bangun yang universal dan strategi optimasi fuzzy dapat segera digunakan secara praktis.

Saat ini logika fuzzy telah berhasil menerobos kendala-kendala yang dulu pernah ditemui dan segera menjadi basis teknologi tinggi. Penerapan teori logika ini dianggap mampu menciptakan sebuah revolusi dalam teknologi. Sebagai contoh, mulai tahun 90-an para manufaktur industri yang bergerak di bidang Distributed Control System (DCSs), Programmable Controllers (PLCs), dan Microcontrollers (MCUs) telah menyatukan sistem logika fuzzy pada barang produksi mereka dan memiliki prospek ekonomi yang baik. Sebuah perusahaan mikroprosesor terkemuka, Motorola, dalam sebuah jurnal teknologi, pernah menyatakan "*... bahwa logika fuzzy pada masa-masa mendatang akan memainkan peranan penting pada sistem kendali digital*"(1). Pada saat yang bersamaan, pertumbuhan yang luar biasa terjadi pada industri perangkat lunak

yang menawarkan kemudahan penggunaan logika fuzzy dan penerapannya pada setiap aspek kehidupan sehari-hari.

Perusahaan Jerman Siemens yang bergerak diberbagai bidang teknik seperti otomatisasi industri, pembangkit tenaga, semikonduktor, jaringan komunikasi publik dan pribadi, otomotif dan sistem transportasi, sistem audio dan video, dan lain sebagainya, beberapa tahun belakangan ini telah membentuk kelompok riset khusus tentang fuzzy. Tujuannya untuk melakukan penelitian dan pengembangan yang sistematis tentang logika fuzzy pada setiap aspek teknologi.

1.2. Mengapa Menggunakan Logika Fuzzy ?

Ada beberapa alasan mengapa orang menggunakan logika fuzzy, antara lain :

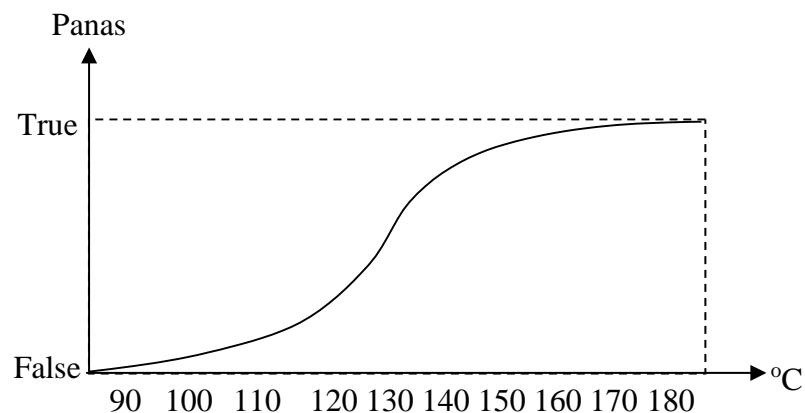
- Konsep logika fuzzy mudah dimengerti. Konsep matematis yang mendasari penalaran fuzzy sangat sederhana dan mudah dimengerti.
- Logika fuzzy sangat fleksibel.
- Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
- Logika fuzzy mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinear yang sangat kompleks.
- Logika fuzzy dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
- Logika fuzzy dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
- Logika fuzzy didasarkan pada bahasa alami.

1.3. Watak Kekaburan

Perhatikan pernyataan di bawah ini:

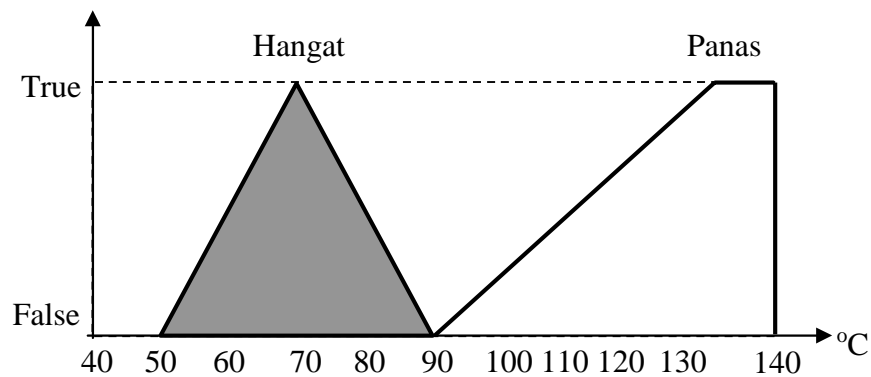
Mesin yang digunakan terus-menerus akan cepat panas

Kita tidak dapat menentukan dengan tepat batasan terus-menerus, cepat dan panas. Sebagai contoh: himpunan temperatur yang akan mempengaruhi kondisi panas tidak bersifat diskret dan dibatasi oleh kondisi HANGAT atau agak PANAS yang digambarkan dengan kurva kontinu yang berhubungan dengan temperatur-temperatur yang berbeda.



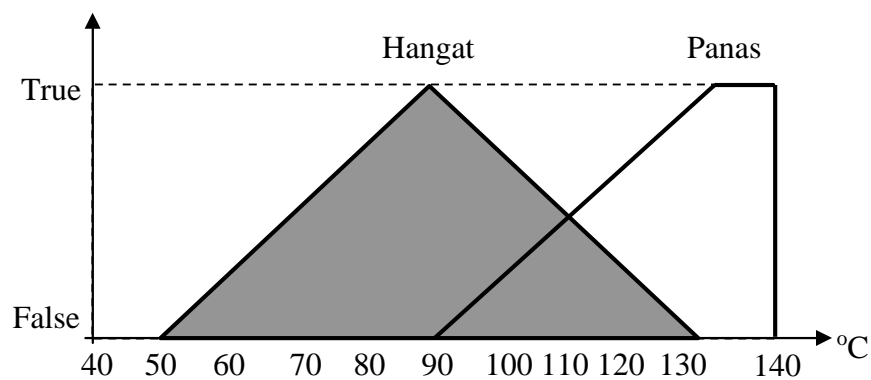
Gambar 1.1. Konsep Panas Pada Motor

Temperatur 90°C dikatakan benar-benar tidak PANAS jika disetujui bahwa 180°C adalah sangat PANAS. Andaikan kita ingin membagi temperatur selama 2 bagian yaitu PANAS dan tidak PANAS, maka kita dapat membagi jangkauan operasi motor menjadi beberapa daerah. Sebagai contoh, kita dapat membagi kondisi motor sebagai HANGAT dan PANAS. Dengan demikian kondisi hangat akan naik berangsur-angsur dari kondisi semakin tidak DINGIN, dan kemudian turun jika motor menjadi PANAS.



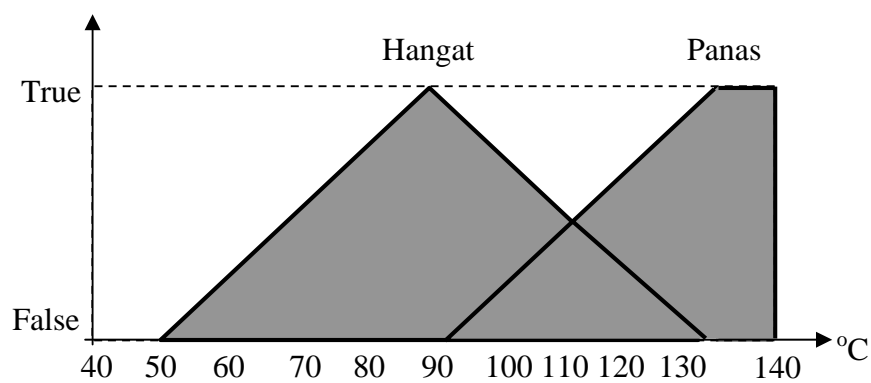
Gambar 1.2. Perbedaan Daerah Hangat dan Panas

Gambar 1.2 memperlihatkan ide HANGAT. Dari gambar 1.3 ini sepertinya tidak ada hubungan antara HANGAT dengan PANAS. Padahal kita tahu bahwa, jika temperatur semakin naik menjauhi kondisi HANGAT, msks motor akan menjadi lebih PANAS. Dengan demikian, wilayah di sebelah kanan posisi HANGAT akan overlap dengan wilayah sebelah kiri posisi PANAS pada beberapa temperatur (gambar 1.3)

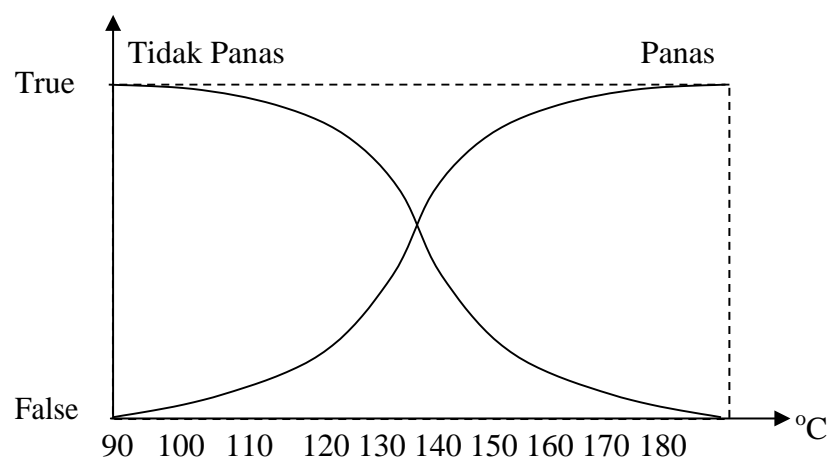


Gambar 1.3. Temperatur Motor Sebagai Daerah Hangat dan Panas

Jika temperatur bertambah, maka kondisi motor akan bergerak dari HANGAT ke PANAS. Pada mulanya, HANGAT akan bercampur dengan PANAS beberapa derajat (gambar 1.4), kondisi ini dapat dinyatakan sebagai: agak PANAS, terlalu HANGAT, setengah PANAS, dll hingga kurva tersebut benar-benar melewati wilayah PANAS. Pada temperatur 112°C kurva mencapai titik infleksi.



Gambar 1.4. Kurva Hangat Menjadi Panas



Gambar 1.5. Kurva Hangat Menjadi Panas

Pada pemodelan klasik, kita harus menentukan suatu titik yang tepat dimana temperatur dikatakan PANAS (gambar 1.5). dengan demikian akan terdapat suatu daerah dimana temperatur berada pada kondisi PANAS dan tidak PANAS.

1.3. Teknologi Sistem Fuzzy

Aplikasi-aplikasi yang menggunakan sistem logika fuzzy sering sekali dianggap atau dinamakan sebagai pengendali fuzzy (fuzzy control). Padahal disamping pengendali fuzzy terdapat bermacam-macam teori yang digunakan pada aplikasi-aplikasi fuzzy seperti klasifikasi fuzzy (fuzzy clasification) dan diagnosis fuzzy (fuzzy diagnosis). Pada tulisan ini akan dipaparkan masalah dalam teknologi fuzzy dan perbedaan antara pengendali fuzzy dengan klasifikasi fuzzy dan fuzzy diagnosis.

Ada dua alasan utama yang mendasari pengembangan teknologi berbasis sistem fuzzy :

- Menjadi *state-of-the-art* dalam sistem kendali berteknologi tinggi. Jika diamati pengalaman pada negara-negara berteknologi tinggi, khususnya di negara Jepang, pengendali fuzzy sudah sejak lama dan luas digunakan di industri-industri dan alat-alat elektronika. Daya gunanya dianggap melebihi dari pada teknik kendali yang pernah ada. Pengendali fuzzy terkenal karena kehandalannya, mudah diperbaiki, dan yang lebih penting lagi pengendali fuzzy memberikan pengendalian yang sangat baik dibandingkan teknik lain, yang biasanya membutuhkan usaha dan dana yang lebih besar.
- Dalam perspektif yang lebih luas, pengendali fuzzy ternyata sangat bermanfaat pada aplikasi-aplikasi sistem identifikasi dan pengendalian ill-structured, di mana linieritas dan invariansi waktu tidak bisa ditentukan dengan pasti, karakteristik proses mempunyai faktor lag, dan dipengaruhi oleh derau acak. Bentuk sistem seperti ini jika dipandang sistem konvensional sangat sulit untuk dimodelkan.

Beberapa proyek teknologi yang dinilai digunakan dan memiliki prospek ekonomi yang cerah seperti :

- Dalam teknologi otomotif : sistem transmisi otomatis fuzzy dan pengendali kecepatan idle fuzzy.
- Dalam teknologi transportasi : Pengendali fuzzy anti-slip untuk kereta listrik, sistem pengaturan dan perencanaan perparkiran, sistem pengaturan lampu lalu lintas, dan pengendalian kecepatan kendaraan di jalan bebas hambatan.
- Dalam peralatan sehari-hari : mesin cuci fuzzy dan vacuum cleaner fuzzy dan lain-lain.
- Dalam aplikasi industri di antaranya : industri kimia, sistem pengolahan kertas, dan lain-lain.
- Dalam power stations : sistem diagnosis kebocoran-H₂
- Masih banyak aplikasi lainnya yang sudah beredar sebagai alat kendali dan barang-barang elektronik berteknologi tinggi.
- Pada tahun 1990 pertama kali dibuat mesin cuci dengan logika fuzzy di Jepang (Matsushita Electric Industrial Company). Sistem fuzzy digunakan untuk menentukan putaran yang tepat secara otomatis berdasarkan jenis dan banyaknya kotoran serta jumlah yang akan dicuci. Input yang akan digunakan adalah: seberapa kotor, jenis kotoran, dan banyaknya yang dicuci. Mesin ini menggunakan sensor optik, mengeluarkan cahaya ke air dan mengukur bagaimana cahaya tersebut sampai ke ujung lainnya. Makin kotor maka sinar yang sampai makin redup. Disamping itu, sistem juga dapat menentukan jenis kotoran (daki atau minyak).
- Transmisi otomatis pada mobil. Mobil Nissan telah menggunakan sistem fuzzy pada transmisi otomatis, dan mampu menghemat bensin 12-17%.
- Kereta bawah tanah Sendai mengontrol pemberhentian otomatis pada area tertentu.

- Ilmu kedokteran dan biologi, seperti sistem diagnosis yang didasarkan pada logika fuzzy, penelitian kanker, manipulasi peralatan prostetik yang didasarkan pada logika fuzzy, dll.
- Manajemen dan pengambilan keputusan, seperti manajemen basis data yang didasarkan pada logika fuzzy, tata letak pabrik yang didasarkan pada logika fuzzy, sistem pemuat keputusan di militer yang didasarkan pada logika fuzzy, pembuatan games yang didasarkan pada logika fuzzy, dll.
- Ekonomi, seperti pemodelan fuzzy pada sistem pemasaran yang kompleks, dll.
- Klasifikasi dan pencocokan pola.
- Psikologi, seperti logika fuzzy untuk menganalisis kelakuan masyarakat, pencegahan dan investigasi kriminal, dll.
- Ilmu-ilmu sosial, terutama untuk pemodelan informasi yang tidak pasti.
- Ilmu lingkungan, seperti kendali kualitas air, prediksi cuaca, dll.
- Teknik, seperti perancangan jaringan komputer, prediksi adanya gempa bumi, dll.
- Riset operasi, seperti penjadwalan dan pemodelan, pengalokasian, dll.
- Peningkatan kepercayaan, seperti kegagalan diagnosis, inspeksi dan monitoring produksi.

1.4. Kendala Perkembangan Teknologi Sistem Fuzzy

Keberhasilan penerapan teknologi fuzzy seperti yang telah disebutkan pada bagian pembahasan sebelumnya, dapat direalisasikan jika terdapat penelitian dan strategi pengembangan riset dan desain oleh sebuah industri untuk menemukan teknik terbaik untuk produknya. Hal tersebut tentunya tidak terlepas dari kesulitan-kesulitan yang ditemui dalam menggunakan dan pengembangan teknologi ini. Secara garis besar beberapa kesulitan yang ditemui oleh industri-industri elektronika adalah sebagai berikut :

- Para enjiner dan ilmuwan generasi sebelumnya dan sekarang banyak yang tidak mengenal teori kendali fuzzy, meskipun secara teknik praktis mereka memiliki pengalaman untuk menggunakan teknologi dan perkakas kontrol yang sudah ada.
- Belum banyak terdapat kursus/balai pendidikan dan buku-buku teks yang menjangkau setiap tingkat pendidikan (undergraduate, postgraduate, dan on site training)
- Hingga kini belum ada pengetahuan sistematis yang baku dan seragam tentang metodologi pemecahan problema kendali menggunakan pengendali fuzzy.
- Belum adanya metode umum/general untuk mengembangkan dan implementasi pengendali fuzzy.

Kendala pertama dan kedua dapat diatasi dengan cara sering diadakannya kursus dan balai pendidikan, memperbanyak penulisan karya-karya ilmiah dan juga pengadaan buku-buku tentang fuzzy di setiap perguruan tinggi atau institusi pendidikan lainnya. Kendala ke tiga dan ke empat dapat diatasi dengan cara membentuk suatu metodolgi untuk merancang dan mengembangkan sistem fuzzy. Metodologi ini mencakup fasilitas-fasilitas yang terdapat dalam teori sistem kendali fuzzy seperti : pemilihan fungsi keanggotaan, operator, penggunaan faktor skala, pengembangan basisi pengetahuan, penurunan basis aturan, uji coba, dan simulasi sistem.

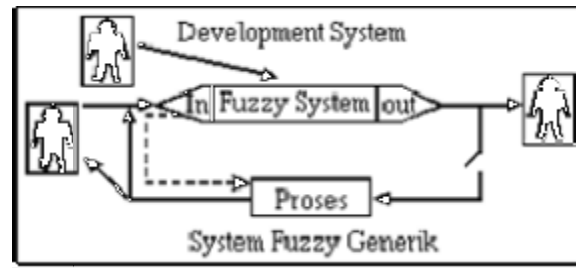
Perusahaan elektrik Omron selain menjual produknya, kini mereka juga tengah mengembangkan metode pendidikan dan pelatihan teknik logika fuzzy. Asisten manajer Omron FA System Div..Jim Krill berkata," ..., *Educating potential customers about the benefits of fuzzy logic and where it can be applied is impotant for proper development of this technology.*" Jadi cara terbaik untuk mencapai teknologi ini menurutnya adalah melalui program pelatihan, seminar, dan pemakaian piranti lunak simulasi sistem fuzzy yang efektif .

Hingga kini software pengembangan logika fuzzy sudah tidak terhitung banyaknya, mulai dari simulasi sistem yang sederhana hingga sistem yang sangat kompleks dan rumit. Masing-masing menawarkan berbagai kelebihan dan kemudahan pemakaian seperti : User friendly editor, sistem on-line dan off-line debugging, compilers untuk setiap bahasa pemrograman termasuk bahasa rakitan mikrokontroler, tampilan 3D dan berbagai macam proyek simulasi yang bisa dilakukan .

1.4. Sistem Kendali Fuzzy,

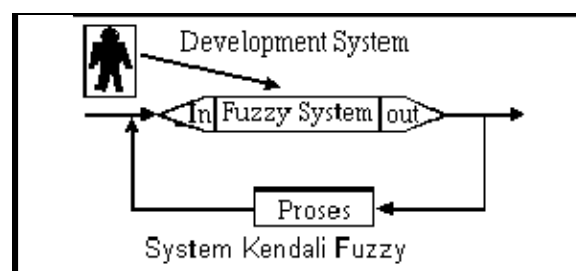
Aplikasi yang menggunakan logika fuzzy, selalu identik dengan pengendalian fuzzy. Walaupun sebenarnya aplikasi itu tergolong dalam klasifikasi fuzzy atau diagnosis fuzzy. Kejadian ini bukanlah masalah yang dominan dan pelik dalam sistem fuzzy, karena istilah "fuzzy" sebenarnya sudah kabur dan sering disamakan dengan istilah-istilah yang ada pada teori himpunan fuzzy, topologi fuzzy, atau dalam pengertian yang lebih sempit lagi sering disebut sebagai approximate reasoning dalam logika keputusan. Dengan cara pandang yang sama sistem kendali fuzzy sering sekali dinyatakan sebagai bagian teori himpunan fuzzy yang digunakan pada aplikasi-aplikasi dalam bentuk sistem lingkaran tertutup. Namun tujuan utama tulisan ini adalah membedakan antara sistem kendali fuzzy dengan sistem klasifikasi fuzzy dan sistem diagnosis fuzzy. Pada ruang lingkup yang lebih luas lagi, masih ada sistem lainnya yang cukup sukses digunakan seperti sistem pakar fuzzy, sistem analisa data fuzzy, sistem pengolahan citra fuzzy, dan berbagai ragam aplikasi sistem fuzzy yang sudah ada.

Pada dasarnya penggunaan istilah klasifikasi dan diagnosis bukanlah merupakan penamaan yang baku, karena keduanya mempunyai pengertian atau makna yang hampir sama dan batas-batas perbedaannya juga tidak begitu jelas. Namun yang teramat penting adalah kedua istilah tadi menunjukkan perbedaan antara kedua sistem aplikasi berbasis logika fuzzy.



Gambar 1.6. Sistem Fuzzy Secara Umum

Sistem fuzzy secara umum dapat dilihat pada Gambar 1.6. Pada gambar tersebut terdapat blok proses, sistem fuzzy, dan sistem pengembangan (development system). Pihak developer diletakkan paling atas pada gambar ini. Selain itu, terdapat dua operator, yaitu seorang yang bertanggung jawab atas masukan untuk sistem fuzzy dan keluaran dari proses, dan seorang lagi bertugas membawa masukan ke dalam proses dan menentukan keluaran dari sistem fuzzy. Operator ini sebenarnya tidak mesti seorang operator manusia, biasanya sistem fuzzy atau non-fuzzy yang berfungsi mengantarkan masukan atau keluaran sinyal proses. Dari gambar ini dapat diturunkan beberapa sistem sistem fuzzy, seperti pengendali fuzzy, klasifikator fuzzy, dan sistem pendiagnosaan fuzzy.

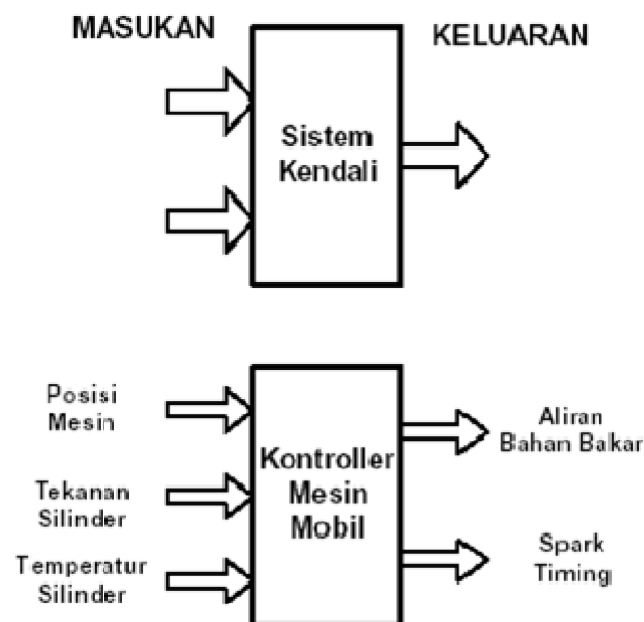


Gambar 1.7. Sistem Kendali Fuzzy

Sebuah kendali fuzzy yang digambarkan pada Gambar 1.7 merupakan suatu sistem lingkaran tertutup, di mana tidak terdapat operator yang menjadi bagian dari sistem lingkaran kendali (control loop). Contoh dari sistem kendali ini adalah vacuum cleaner. Sistem pada alat ini mengatur daya motor penghisap tergantung

pada banyaknya debu di lantai atau karpet. Contoh lain dari sistem kendali fuzzy adalah optimisasi torsi dalam sistem anti slip yang digunakan kereta listrik dan sistem kereta bawah tanah. Masukan sistem kendali berupa kecepatan kereta dan koefisien resistansi rel.

Tujuan dari setiap sistem kendali adalah menghasilkan keluaran untuk masukan yang diberikan. Sebagai contoh, kontroller mesin mobil merespon variable masukan seperti posisi mesin, tekanan silinder, dan temperatur silinder untuk mengatur aliran bahan bakar dan spark timing.



Gambar 1.8. Blok Sistem Kendali Fuzzy (3 Masukan dan 2 Keluaran)

Dalam banyak kasus, kontroller konvensional mengambil data dari tabel definisi yang menspesifikasikan keluaran yang dihasilkan untuk setiap masukan atau kombinasi masukan. Meskipun cukup untuk situasi kendali sederhana, pendekatan tabel akan menghadapi masalah saat dibutuhkan banyak masukan atau keluaran. Membesarnya tabel sering menyebabkan kebutuhan memori semakin besar pula. Sehingga biaya yang dikeluarkan semakin bertambah. Sistem mungkin

memberikan respon yang tidak merata atau tidak sama layaknya kontroller melompat dari suatu nilai keluaran ke nilai keluaran lainnya.

Solusi terhadap masalah ini adalah adanya kontroller yang mengeksekusi perhitungan matematis yang mengekspresikan keluaran sebagai fungsi masukan. Secara teori, perhitungan mewakili keakuratan model dari perilaku sistem. Secara praktis sayangnya perhitungan dapat menjadi cukup rumit. Bekerja dengan keadaan realtime dari mikrokontroller untuk kedua kondisi tersebut bisa jadi tidak dapat dikerjakan. Lebih jauh hal ini sulit atau bahkan tidak mungkin untuk menurunkan persamaan model matematis dalam tempat pertama. Ahli teknik otomotif dapat memahami hubungan secara umum antara, katakanlah, waktu pembakaran, aliran udara, campuran bahan bakar, dan putaran mesin, namun perhitungan matematis yang mendasari hubungan tersebut mungkin samar.

Logika Fuzzy memberikan solusi praktis dan ekonomis untuk mengendalikan sistem yang kompleks dan tak terbatas. Walaupun namanya agak kontradiktif, logika fuzzy memberikan rangka kerja yang kuat dalam memecahkan banyak masalah pengontrolan. Aturan dasar kontroller fuzzy menghendaki sedikit kode dan memori dan tidak membutuhkan heavy number-crunching atau model matematis kompleks untuk mengoperasikannya. Yang dibutuhkan adalah pemahaman praktis dari perilaku sistem keseluruhan. Banyak produk komersial memakai logika fuzzy yang menggunakan kurang dari 20 aturan.

		Anticendent 1				
		Temperatur				
		Dingin	Sejuk	Normal	Hangat	Panas
Anticendent 2	K E L E M B A B A N	Basah	Pendek	Pendek	Pendek	Pendek
	M B A B A N		Pendek	Cukup	Cukup	Cukup
	K E R I N G		Panjang	Panjang	Panjang	Panjang

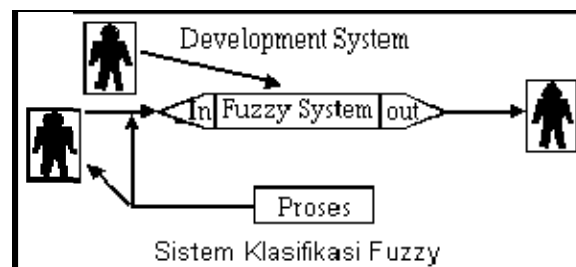
Contoh aturan yang diringkas dari tabel diatas :

- IF temperatur panas AND tanah kering THEN lamanya penyiraman panjang
- IF temperatur dingin AND tanah basah THEN lamanya penyiraman pendek

Logika Fuzzy telah ditransformasikan dalam banyak pasar produk di Jepang, dan sekarang diterima secara luas di seluruh dunia. Ahli-ahli industri percaya bahwa logika fuzzy akan memainkan peran penting dalam lingkup kontrol industri dan menjadi bisnis jutaan dolar.

Untuk mendapatkan keuntungan penggunaan logika fuzzy, pertama kali anda harus memahami konsep dan prinsip dasarnya. Program ini didesain untuk memberikan anda pemahaman dasar pada bagaimana logika fuzzy bekerja dan bagaimana anda dapat mengaplikasikannya kedalam produk anda.

1.5. Sistem Klasifikasi Fuzzy



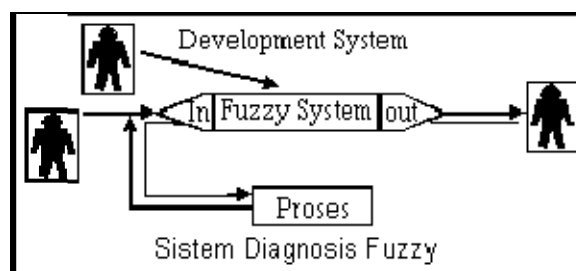
Gambar 1.9. Sistem Klasifikasi Fuzzy

Pada sistem klasifikasi fuzzy (Gambar 1.9) tidak terdapat loop tertutup. Sistem ini hanya menerima masukan dan keluaran dari proses untuk selanjutnya memberikan informasi berupa kondisi (state) dari proses tadi. Informasi kondisi ini dapat digunakan untuk mengendalikan sistem atau memberikan tanggung jawab kendali kepada operator. Secara matematis, sistem klasifikasi lebih dekat pada teori himpunan daripada teori fungsi. Pada sistem ini, sifat kesamaan

(Vagueness) sering ditemui pada opini pakar dan jarang menggunakan model relasi fuzzy.

Contoh dari sistem klasifikasi fuzzy adalah mesin cuci fuzzy. Beberapa variabel/parameter mesin cuci ditentukan berdasarkan jumlah dan jenis pakaian. Keluaran atau informasi dari sistem klasifikasi ini digunakan untuk menentukan jenis spin-dry serta lembut atau kasar gesekan pakaian yang optimal. Contoh kedua dari sistem fuzzy ini adalah sistem transmisi otomatis fuzzy. Sistem ini menggunakan beberapa sensor yang ditaruh pada sistem ABS, sistem power steering, sistem kendali motor, dan bagian penting lainnya. Selama kendaraan berjalan, sistem ini akan terus memantau dan menilai kondisi mobil tersebut, seperti beban kendaraan, kondisi mobil pada saat melewati jalan yang menanjak atau menurun dan kondisi-kondisi lainnya. Pada Gambar 1.9, gambar operator manusia pada kiri dan kanan sistem klasifikasi fuzzy, biasanya merupakan suatu sistem khusus yang bertugas memberikan informasi yang diperlukan untuk kemudian di proses.

1.6. Sistem Diagnosis Fuzzy



Gambar 1.10. Sistem Diagnosa Fuzzy

Pada sistem diagnosis fuzzy (Gambar 1.10) peranan manusia/operator lebih dominan. Pengiriman data dilaksanakan oleh operator ke dalam sistem, ketika sistem memerlukan data tambahan. Selain itu operator dapat meminta atau menanyakan informasi dari sistem diagnosis berupa hasil konklusi diagnosis atau

prosedur detail hasil diagnosis oleh sistem. Dari sifat sistem ini, sistem diagnosis fuzzy dapat digolongkan pada sistem pakar fuzzy. Sistem pakar fuzzy adalah sistem pakar yang menggunakan notasi fuzzy pada aturan-aturan dan proses inferensi (logika keputusan). Salah satu kelebihan sistem pakar fuzzy dibandingkan sistem pakar konvensional adalah jumlah aturan lebih sedikit, sehingga sistem lebih transparan untuk dianalisa. Kekurangannya adalah kehandalan sistem sangat tergantung pada baik-buruknya proses pengumpulan aturan seperti prosedur pertanyaan dan komponen-komponen kuisioner, serta sering terjadi kesulitan untuk menyimpulkan suatu pernyataan tertentu oleh operator.

Bidang aplikasi sistem diagnosis ini biasanya suatu proses yang besar dan kompleks, sehingga sangat sulit dianalisa menggunakan algoritma eksak dan dimodelkan dengan model matematika biasa. Pada permulaan persiapan sistem, jumlah aturan yang digunakan ini biasanya sangat banyak. Namun pada tahap akhir, jumlah aturan akan lebih sedikit dan mudah dibaca. Ini merupakan sifat sistem pakar fuzzy, seperti yang dikatakan oleh Prof. Zadeh, bahwa sistem pakar fuzzy akan menggunakan aturan-aturan yang lebih sedikit dibandingkan sistem pakar konvensional sehingga mudah dibaca dan membantu menghindari inkonsistensi dan inkomplit sistem pengendali. Contoh dari sistem pakar fuzzy ini adalah proyek diagnosa kebocoran- H_2 pada sistem pendingin high-performance generator. Salah satu contoh aturan sistem diagnostik ini adalah :

"Jika konsumsi H_2 tinggi dan daya yang tersedia rendah dan suhu gas rendah dan tekanan H_2 generator tidak rendah/menurun, maka tingkatkan konsumsi H_2 (untuk menurunkan temperatur)"

Yang perlu diperhatikan pada sistem diagnostik ini adalah, tidak berlakunya proses defuzzifikasi, karena sistem ini hanya menghasilkan sifat keluaran berupa aproksimasi linguistik yang merupakan suatu pernyataan atau jawaban yang mudah dipahami oleh operator.

BAB II

DASAR-DASAR FUZZY LOGIC

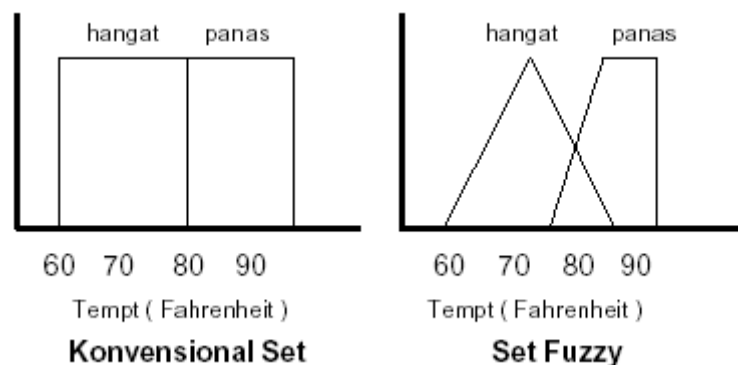
Pada pertengahan 1960, Prof. Lotfi Zadeh dari universitas California di Barkeley menemukan bahwa hukum benar atau salah dari logika boolean tidak memperhitungkan beragam kondisi yang nyata. Untuk menghitung gradasi yang tak terbatas jumlahnya antara benar dan salah, Zadeh mengembangkan ide penggolongan set yang ia namakan set fuzzy. Tidak seperti logika boolean, logika fuzzy memiliki banyak nilai. Tidak seperti elemen yang dikategorikan 100% ini atau itu, atau sebuah dalil yang menyatakan semuanya benar atau seluruhnya salah, fuzzy membaginya dalam derajat keanggotaan dan derajat kebenaran, yaitu : sesuatu yang dapat menjadi sebagian benar dan sebagian salah pada waktu yang sama. Hal ini telah dibuktikan oleh Bart Kosko bahwa logika boolean adalah kasus khusus dari logika fuzzy.

Lotfi Zadeh mengatakan Integrasi Logika Fuzzy kedalam sistem informasi dan rekayasa proses adalah menghasilkan aplikasi seperti sistem kontrol, alat alat rumah tangga, dan sistem pengambil keputusan yang lebih fleksibel, mantap, dan canggih dibandingkan dengan sistem konvensional. Dalam hal ini kami dapat mengatakan bahwa logika fuzzy memimpin dalam pengembangan kecerdasan mesin yang lebih tinggi (machine Intelligency Quotient / MIQ) Produk produk berikut telah menggunakan logika fuzzy dalam alat alat rumah tangga seperti mesin cuci, video dan kamera refleksi lensa tunggal, pendingin ruangan, oven microwave, dan banyak sistem diagnosa mandiri.

Keuntungan lain dari MIQ adalah Pemakaian yang lebih mudah digunakan, Kemandirian yang lebih tinggi, Kinerja yang lebih baik Dengan logika Fuzzy para ahli teknik penjual software dan desainer dapat membuat mesin yang dapat merespon secara lebih pintar pada keadaan yang tidak tepat dan sering

memiliki kondisi yang berlawanan dengan dunia luar. Secara eksplisit bekerja dengan informasi yang amat banyak, sinyal kontrol sebagai kondisi, dan masukan yang tidak tepat bagi sistem perangkat lunak yang akan membuat mesin ini menirunya. Dengan kata lain jalan bagi kita, manusia, merespon dunia luar. Kesamaan antara perilaku mesin dan perilaku manusia akan mereduksi kebutuhan akan kontrol luar yang kompleks, membuat mesin lebih “beralasan”. Dan membantu pabrik dalam komputerisasi yang berguna dalam kehidupan kita sehari-hari.

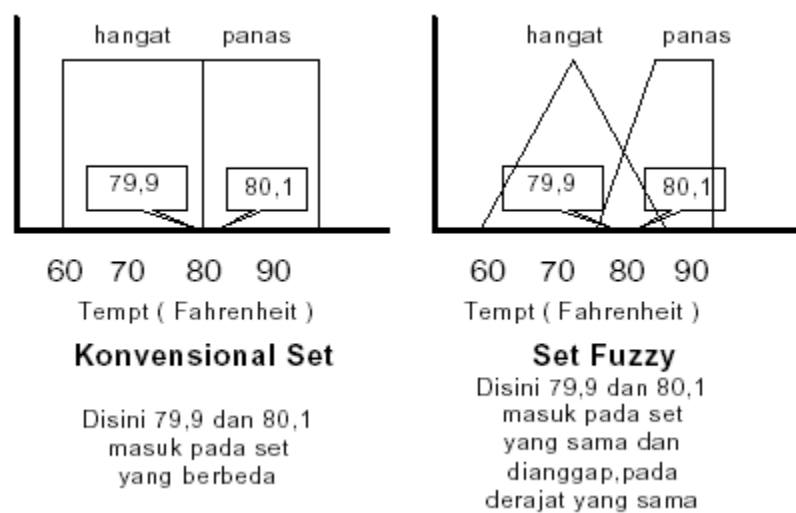
Sebagai contoh, apakah 80 derajat fahrenheit tergolong hangat atau panas? Dalam logika fuzzy, dan dalam dunia nyata, “kedua-duanya benar” mungkin merupakan jawabannya. Seperti yang anda lihat pada grafik fuzzy dibawah ini, 80 derajat adalah sebagian hangat dan sebagian panas dalam gambaran set fuzzy. Sementara hal ini dapat dibenarkan bahwa tumpang tindih antara set dapat terjadi dalam logika boolean, transisi dari set ke set terjadi seketika itu juga (yaitu elemen yang dapat menjadi anggota set atau tidak). Dengan logika fuzzy, sementara itu, transisi dapat bertingkat – tingkat (yaitu elemen dapat memiliki sebagian keanggotaan dalam sejumlah set)



Gambar 2.1. Konvensional dan Fuzzy Set (1)

2.1. Himpunan Fuzzy, Konvensional Set dan Fuzzy Set

Dalam logika klasik menggunakan set konvensional yang ditunjukkan dibawah, 79,9 derajat dapat diklasifikasikan sebagai hangat, dan 80,1 derajat dapat diklasifikasikan sebagai panas. Perubahan kecil dalam sistem dapat menyebabkan perbedaan reaksi yang berarti. Dalam sistem fuzzy, perubahan kecil temperatur akan memberikan hasil perubahan yang tidak jelas pada kinerja sistem.



Gambar 2.2 Konvensional dan Fuzzy Set (2)

Informasi tambahan pada set Fuzzy :

Dalam teori klasik atau konvensional, set "S" didefinisikan sebagai fungsi f_s , dinamakan "fungsi karakteristik S".

f_s memetakan elemen S ke satu (benar) atau nol (salah), seperti ditunjukkan dalam rumus dibawah.

Karena itu, untuk setiap elemen x dari S, $f_s(x)=1$, jika x adalah elemen S, dan $f_s(x)=0$ jika x bukan elemen S

$f_s : S \rightarrow \{0,1\}$ untuk sebuah elemen x dari S,

$f_s(x) = 1$, jika $x \in S$

$f_s(x) = 0$, jika $x \notin S$

Secara tajam, dalam teori set fuzzy, set S didefinisikan sebagai μ_s , dinamakan "fungsi keanggotaan S"

μ_s , memetakan elemen S pada nilai antara nol dan satu, seperti ditunjukkan dalam rumus. Untuk x sebagai elemen S, $\mu_s(x)$ sama dengan derajat dimana x adalah elemen S, seperti ditunjukkan

dalam persamaan rumus berikut ini :

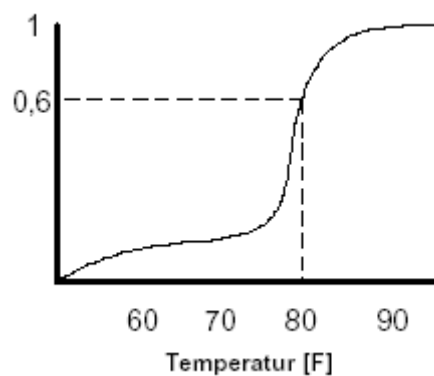
$$\mu_s : S @ [0,1]$$

$$\mu_s(x) = 1, \text{ berarti } x \text{ total dalam } S$$

$$\mu_s(x) = 0, \text{ berarti } x \text{ bukan dalam } S$$

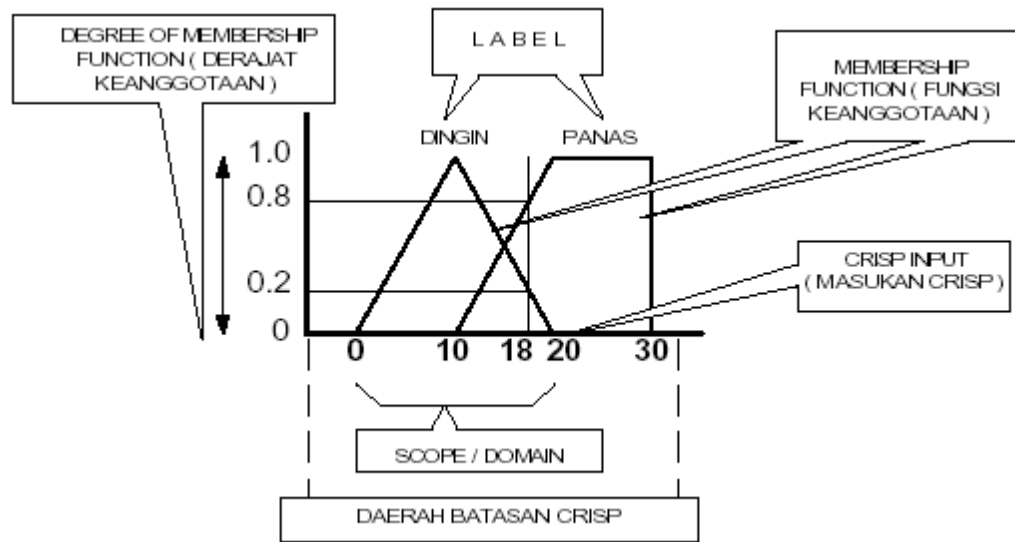
$$0 < \mu_s(x) < 1, \text{ berarti } x \text{ sebagian dalam } S$$

Logika Fuzzy mengenali tidak hanya clear cut, alternatif hitam dan putih, tapi juga tingkatan tak terbatas antara keduanya. Hal ini mungkin kelihatan tidak jelas, namun logika fuzzy menghilangkan banyak keraguan dengan menentukan nilai tertentu pada tingkatan tersebut. Sebagai contoh temperatur 80 derajat fahrenheit dapat diklasifikasikan antara daerah nol sampai satu sebagai panas pada tingkat 0,6. Nilai ini kemudian digunakan untuk menurunkan kepastian atau penyelesaian crisp terhadap masalah perancangan. Walaupun kelihatan kontradiksi dari namanya, logika fuzzy memberikan metoda ketepatan yang dapat diandalkan dari persoalan pengambilan keputusan crisp.



Gambar 2.3. Pemetanaan derajat kebenaran

Untuk mengerti sistem fuzzy, anda harus mengenal konsep dasar yang berhubungan dengan logika fuzzy.



Gambar 2.4. Variabel Fuzzy

DERAJAT KEANGGOTAAN

Adalah derajat dimana nilai crisp compatible dengan fungsi keanggotaan (dari 0 sampai 1), juga mengacu sebagai tingkat keanggotaan, nilai kebenaran, atau masukan fuzzy.

LABEL

Adalah nama deskriptif yang digunakan untuk mengidentifikasi sebuah fungsi keanggotaan.

FUNGSI KEANGGOTAAN

Adalah mendefinisikan fuzzy set dengan memetakan masukan crisp dari domainnya ke derajat keanggotaan.

MASUKAN CRISP

Adalah masukan yang tegas dan tertentu.

LINGKUP / DOMAIN

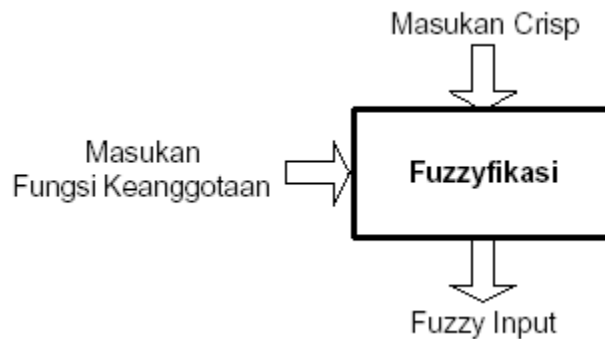
Adalah lebar fungsi keanggotaan. Jangkauan konsep, biasanya bilangan, tempat dimana fungsi keanggotaan dipetakan. Disini domain dari fuzzy set (fungsi keanggotaan) adalah dari 0 sampai 20 derajat dan lingkupnya adalah 20 derajat.

DAERAH BATASAN CRISP

Adalah jangkauan seluruh nilai yang mungkin dapat diaplikasikan pada variabel sistem. Menggunakan logika fuzzy untuk mencapai penyelesaian crisp pada masalah khusus biasanya melibatkan tiga langkah : fuzzyfikasi, evaluasi rule, dan defuzzyfikasi. Jika anda tidak / belum mengetahui bagaimana logika fuzzy itu bekerja kami sarankan agar anda benar benar memahami betul tiap langkah dalam bagian berikutnya.

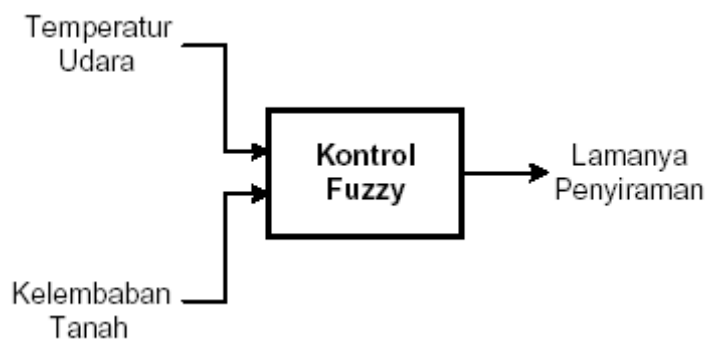
2.2. Fuzzyfikasi dan Fungsi Keanggotaan

Langkah pertama dalam memproses logika fuzzy mengandung transformasi domain yang dinamakan fuzzyfikasi. Masukan crisp ditransformasikan kedalam masukan fuzzy. Sebagai contoh, masukan crisp 78 derajat akan ditransformasikan sebagai hangat dalam bentuk fuzzy. 90 mph akan ditransformasikan menjadi cepat, dan sebagainya. Untuk mengubah bentuk masukan crisp kedalam masukan fuzzy, fungsi keanggotaan pertama kali harus ditentukan untuk tiap masukan. Sekali fungsi keanggotaan ditentukan, fuzzyfikasi mengambil nilai masukan secara realtime, seperti temperatur, dan membandingkannya dengan informasi fungsi keanggotaan yang tersimpan untuk menghasilkan nilai masukan fuzzy.



Gambar 2.5. Fuzzyfikasi

Untuk menggambarkan proses fuzzyfikasi, mari kita lihat sistem penyiraman tanaman. Pengendali fuzzy dalam sistem ini akan menggunakan dua masukan, temperatur udara luar dan kondisi tanah, untuk mengkalkulasi lamanya penyiraman.



Gambar 2.6. Contoh Aplikasi Sistem Fuzzy
(Untuk Menentukan Lama Penyiraman Tanaman)

Langkah pertama dalam fuzzyfikasi adalah menentukan label label fuzzy pada daerah batasan crisp dari setiap masukan crisp. Jadi untuk temperatur kita dapat menentukan daerah label misalkan kita bagi menjadi 5 label, Dingin, Sejuk, Normal, Hangat, Panas. Dan untuk kondisi tanah kita bagi menjadi 3 label, Kering, Lembab, Basah. Untuk pembahasan selanjutnya dari bagian ini kita akan

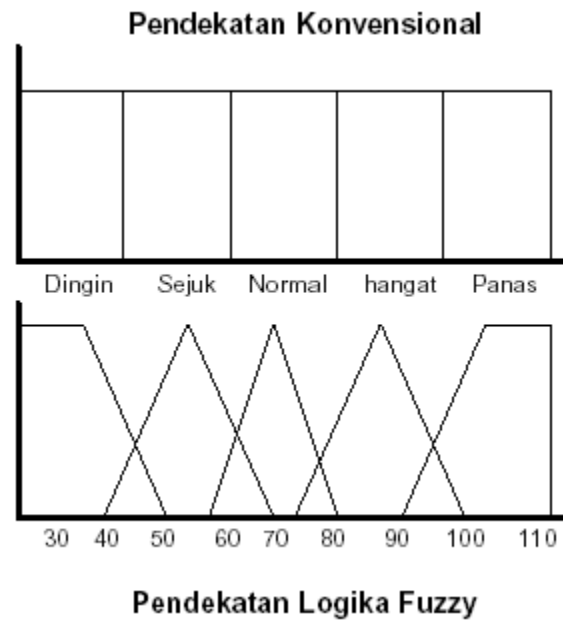
berkonsentrasi pada masukan temperatur.

Info Tambahan Pada Label :

- *Setiap masukan crisp kedalam sistem fuzzy dapat memiliki banyak label yang mengacu padanya. Secara umum, besarnya jumlah label menunjuk pada variabel masukan yang digambarkan, resolusi tertinggi resultan sistem kontrol fuzzy, memberi hasil dalam respon kontrol yang lebih baik.*
- *Sementara itu banyaknya label membutuhkan tambahan waktu komputasi. Lebih jauh jumlah label yang terlalu banyak dapat menyebabkan sistem fuzzy menjadi tidak stabil. Sebagai hasilnya, banyaknya label untuk setiap variabel dalam sistem fuzzy berkisar antara 3 dan 9. jumlahnya biasanya (namun tidak selalu) merupakan bilangan ganjil 3, 5, 7, 9.*
- *Kontrol set fuzzy dalam kedua sisi nol (atau normal) harus seimbang dan simetris. Jadi jika anda mempunyai variabel, temperatur, daerah fuzzy RENDAH harus mempunyai daerah TINGGI yang sama besarnya dengan temperatur normal yang diset sebagai NORMAL.*

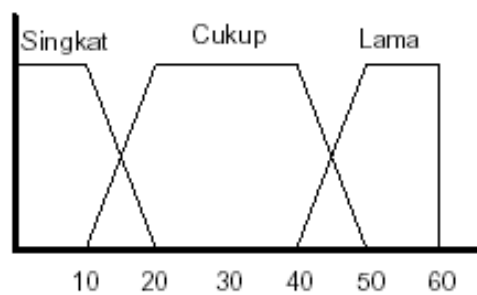
Berikutnya, fungsi keanggotaan dinyatakan untuk memberi arti numerik pada tiap label. Setiap fungsi keanggotaan mengidentifikasikan daerah nilai masukan yang berkorespondensi dengan label. Tidak seperti logika boolean, fungsi keanggotaan label tidak mendefinisikan batas batas dimana label diaplikasikan secara penuh pada satu sisi cutoff dan tidak pada semua sisi lain cutoff.

Walaupun ada daerah dimana nilai masukan berubah secara bertahap dari keadaan dapat diaplikasikan ke keadaan tak dapat diaplikasikan.



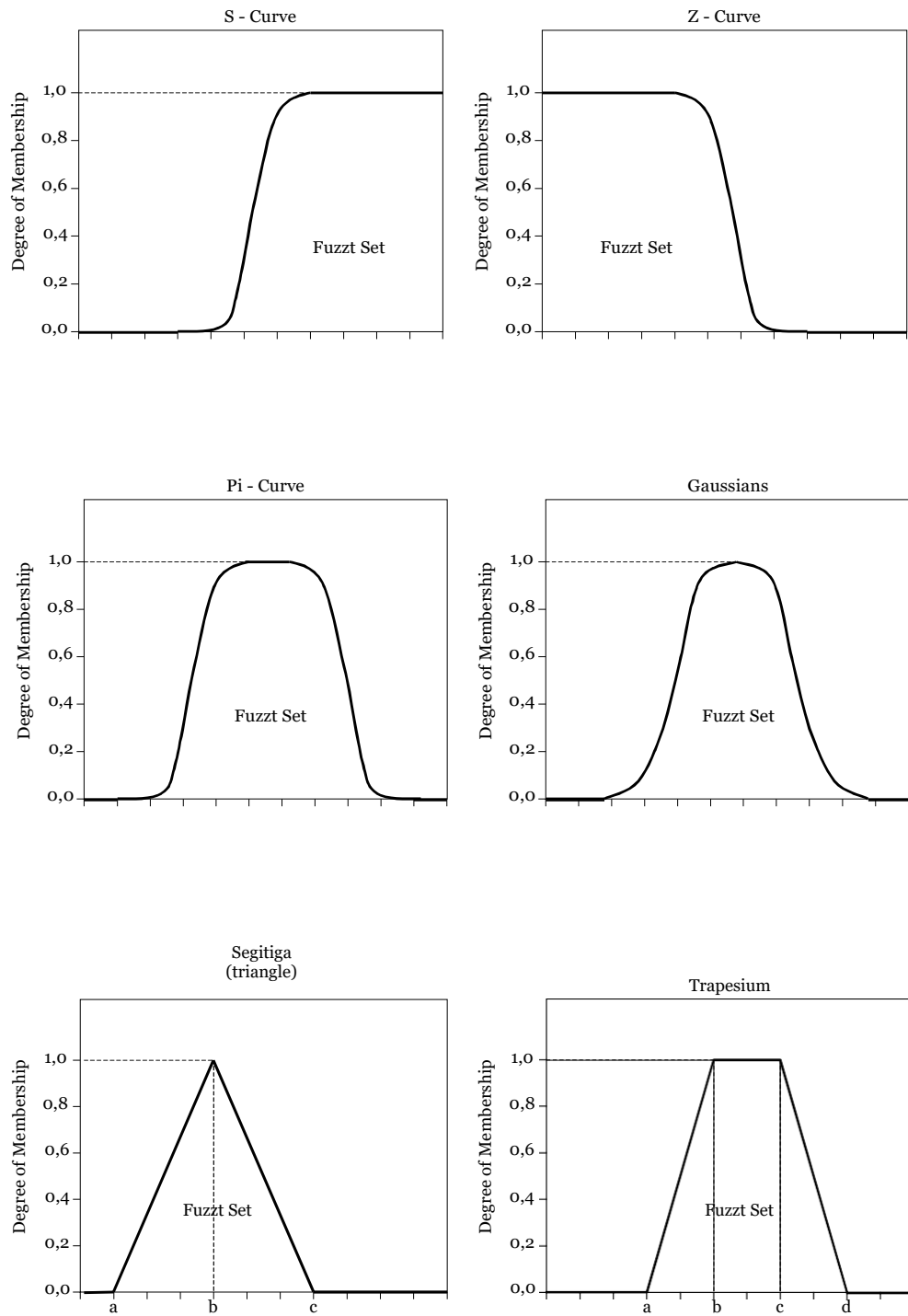
Gambar 2.7. Pendekatan Konvensional Dan Pendekatan Fuzzy

Keluaran fuzzy juga punya fungsi keanggotaan. Hal ini akan dibahas lebih jauh dan mendalam pada Evaluasi Rule dan Defuzzyfikasi



Gambar 2.8(a). Fungsi Keanggotaan Trapesoidal

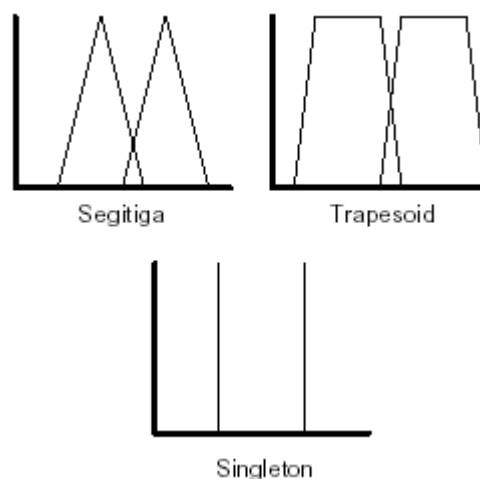
Berikut ini adalah beberapa contoh fungsi keanggotaan yang lainnya dan sering dipergunakan dalam mengaplikasikan logika fuzzy.



Gambar 2.8(b). Fungsi Keanggotaan Trapesoidal

Informasi tambahan untuk Fungsi Keanggotaan :

Bentuk fungsi keanggotaan mempengaruhi proses fuzzy dalam jalan yang tak diketahui. Sebagai contoh, bentuk fungsi mempengaruhi secara langsung waktu dan ruang yang dibutuhkan oleh mikrokontroller mengerjakan fuzzyfikasi dan defuzzyfikasi. Fungsi keanggotaan dapat mengambil beberapa bentuk yang berbeda. Bentuk trapesoid dan segitiga adalah yang paling sering digunakan. Meskipun bentuk yang lain mungkin saja lebih mewakili fenomena alam yang terjadi, mereka membutuhkan persamaan yang lebih rumit atau tabel yang lebih besar terhadap keakuratan yang diwakilinya. Singleton mudah diaplikasikan dalam komputer dan algoritma defuzzyfikasi yang sederhana. Bentuk ini sering digunakan untuk menggambarkan defuzzyfikasi.

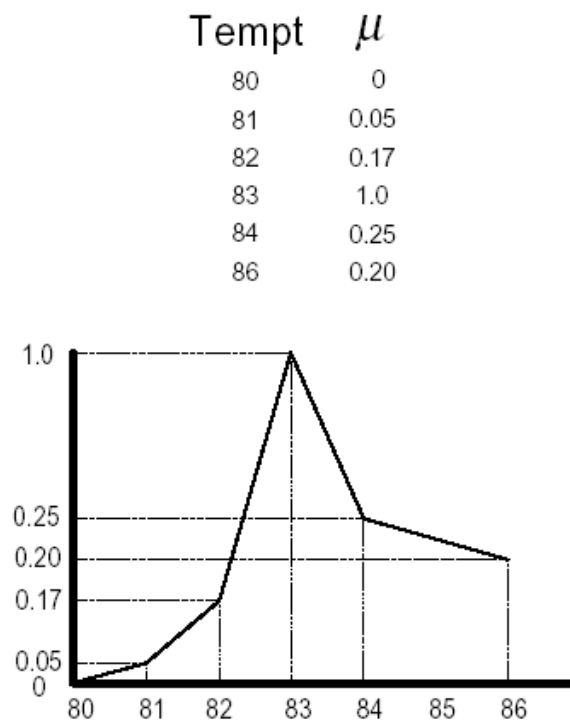


Gambar 2.9. Fungsi Keanggotaan

Tergantung pada bentuk fungsi keanggotaan, bermacam macam metode digunakan untuk mewakili fungsi dalam sebuah mikrokontroller. Representasi point slope membuat fungsi trapesoid, segitiga, dan singleton yang diwakili dengan jumlah ruangan waktu yang minimal.

Tabel dibawah merupakan gambaran umum untuk fungsi tak beraturan. Meskipun hal ini mungkin cara tercepat mewakili fuzzyfikasi, namun ia juga memakai memori dalam jumlah yang besar.

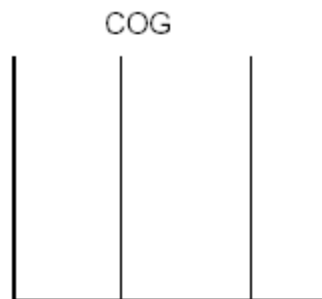
Lebih jauh, fungsi bentuk tak beraturan menghabiskan waktu lebih banyak dalam defuzzyfikasi jika mikrokontroller menggunakan defuzzyfikasi Center Of Gravity (COG). Defuzzyfikasi COG dijelaskan secara detil dalam bagian defuzzyfikasi.



Gambar 2.10. Fungsi Keanggotaan Yang Tidak Beraturan

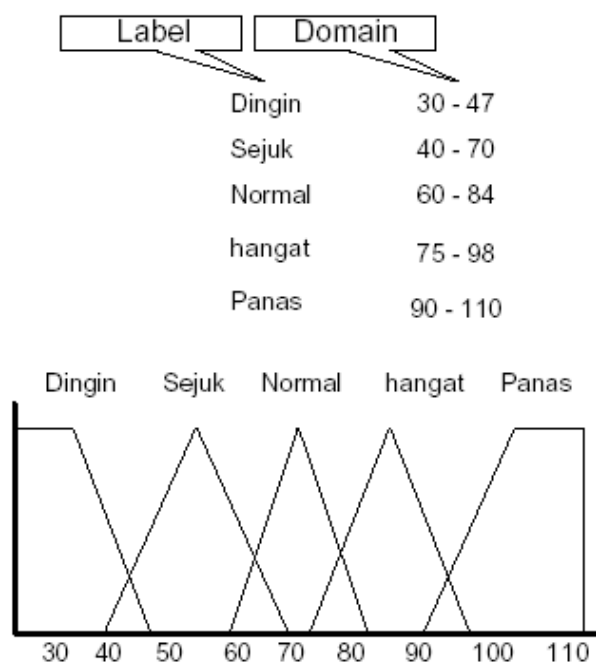
Ketika singleton digunakan untuk menggambarkan fungsi keanggotaan keluaran, defuzzyfikasi COG mereduksi ke perhitungan rata rata berat secara sederhana. Penyelidikan telah menunjukkan bahwa kinerja yang pantas dan penghematan waktu yang berarti dapat dicapai menggunakan keluaran yang singleton.

Menggambarakan singleton adalah merupakan aksi keluaran resultan yang mungkin tidak mewakili respon sedekat yang anda dituju.



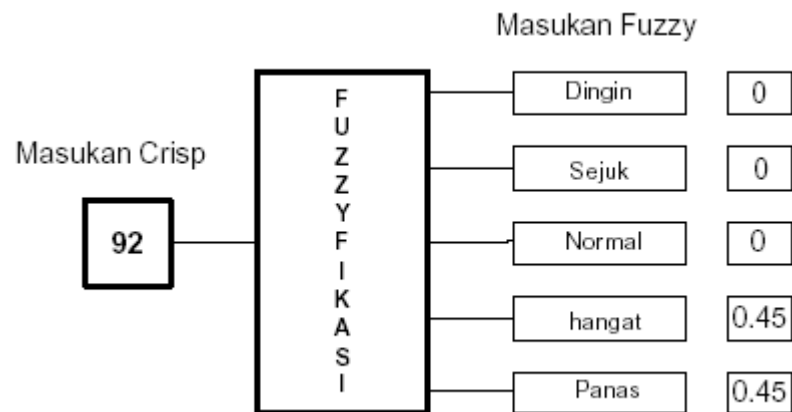
Gambar 2.11. Fungsi Keanggotaan Untuk Fuzzy Singleton

Masukan fungsi keanggotaan dihasilkan dengan menuliskan satu demi satu bilangan, yaitu derajat keanggotaan, untuk setiap nilai masukan yang mungkin dari label yang diberikan.

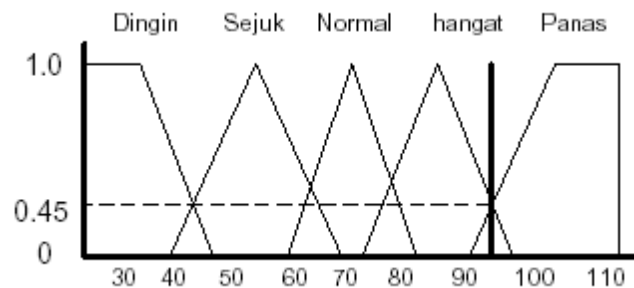


Gambar 2.12. Fungsi Keanggotaan Lengkap Dengan Label dan Range-nya

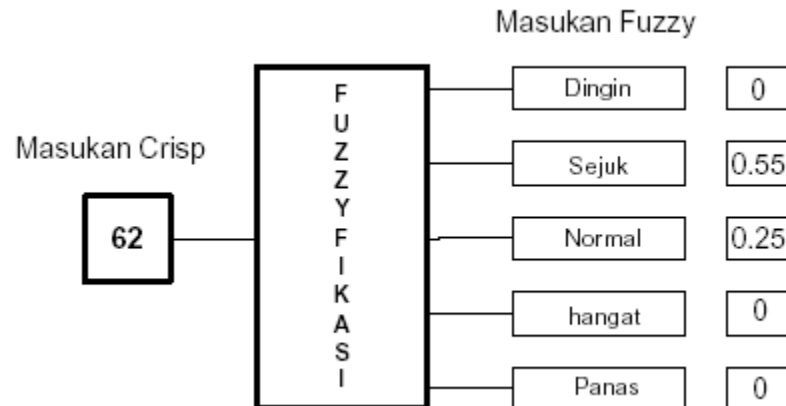
Harga (μ) pada sumbu y mengacu pada derajat dimana nilai masukan crisp (temperatur) dipasang pada tiap label fungsi keanggotaan {sejuk, hangat, dan sebagainya}. Seperti yang anda lihat, nilai masukan dapat menjadi milik lebih dari satu set fuzzy. 92 derajat termasuk dalam set hangat dan juga set panas yang telah didefinisikan oleh fungsi keanggotaan.



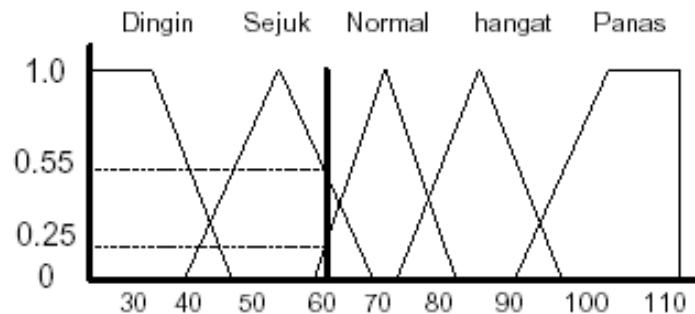
Gambar 2.13. Blok Diagram Fuzzyfikasi



Gambar 2.14. Pemetaan Masukan Crisp Kedalam Fungsi Keanggotaan dan Derajat Keanggotaannya



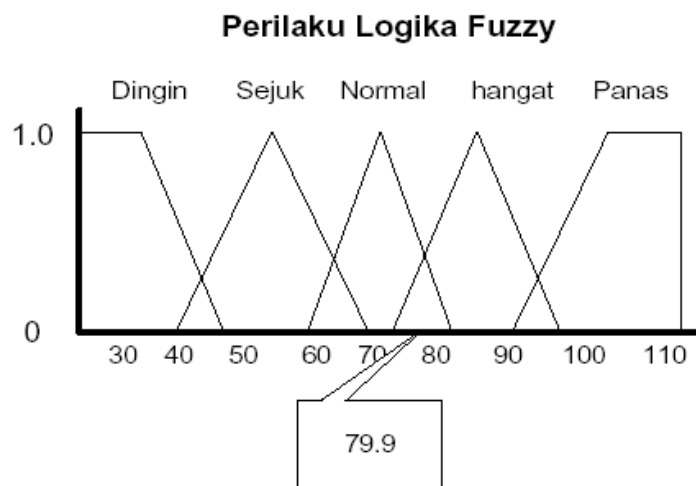
Gambar 2.13. Blok Diagram Fuzzyfikasi



Gambar 2.14. Pemetaan Masukan Crisp Kedalam Fungsi Keanggotaan dan Derajat Keanggotaannya

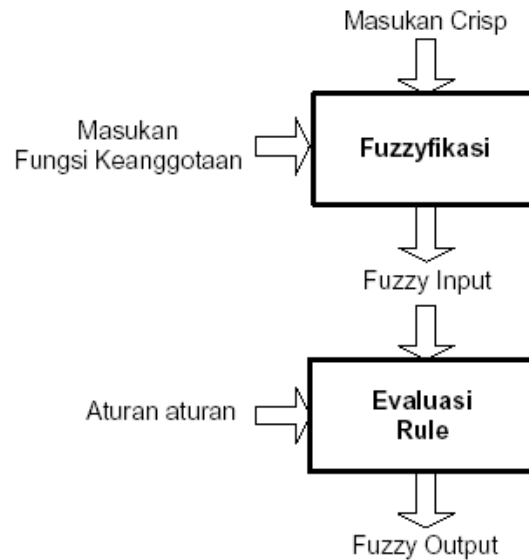
Menguraikan masukan crisp dalam bentuk fuzzy memungkinkan sistem merespon secara halus perubahan dalam temperatur masukan. Sebagai contoh, reaksi sistem fuzzy terhadap aturan, “jika temperatur luar panas, maka lamanya penyiraman singkat; jika temperatur luar hangat maka lamanya penyiraman agak lama” akan berubah hanya sedikit jika temperatur luar bergerak dari 80 derajat ke 79,9 derajat. Respon sistem dalam bentuk lamanya penyiraman akan dihitung pada derajat keanggotaan temperatur masukan pada tiap set, pada keadaan ini, 80 derajat dan 79,9 derajat adalah normal sekaligus hangat.

Pada bagian / langkah berikutnya setelah fuzzyfikasi yaitu evaluasi rule, kita akan mengetahui bagaimana aturan aturan menggunakan masukan fuzzy untuk menentukan aksi sistem. Jika anda belum memahami bagian fuzzyfikasi ini disarankan agar anda mengulangi lagi sampai anda benar benar faham dan ngerti tentang fuzzyfikasi sebelum anda melangkah ke evaluasi rule.



Gambar 2.15. Perilaku Logika Fuzzy

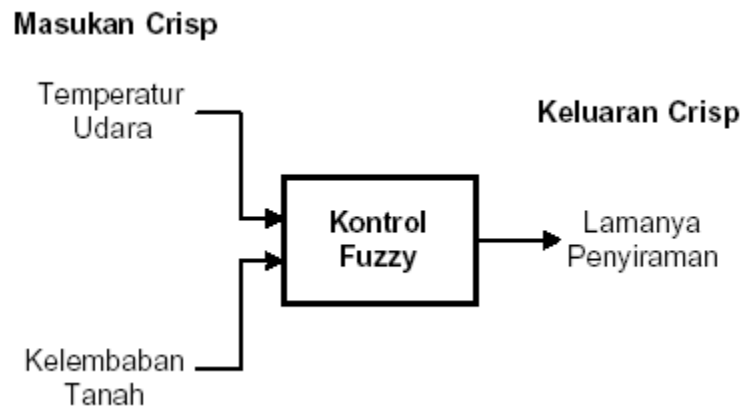
2.3 Evaluasi Rule



Gambar 2.16. Blok Diagram Evaluasi Rule

Dalam langkah kedua pemroses logika fuzzy, dinamakan evaluasi rule, prosesor fuzzy menggunakan aturan linguistik untuk menentukan aksi kontrol apa yang harus dilakukan dalam merespon nilai masukan yang diberikan. Evaluasi rule juga mengacu pada fuzzy inference, mengaplikasikan aturan pada masukan fuzzy yang dihasilkan dalam proses fuzzyfikasi, kemudian mengevaluasi tiap aturan dengan masukan yang dihasilkan dari proses fuzzyfikasi. Dalam proses fuzzyfikasi, kita mengetahui bagaimana masukan crisp, temperatur dan kelembaban, ditransformasikan kepada masukan fuzzy dalam sistem penyiraman tanaman.

Sekarang kita akan mengetahui bagaimana masukan masukan tersebut digunakan dalam proses evaluasi rule. Aturan aturan fuzzy biasanya menggunakan pernyataan jika-maka yang menggambarkan aksi yang diambil dalam merespon bermacam macam masukan fuzzy.



Gambar 2.17. Blok Diagram Sistem Fuzzy Untuk Menentukan Lama Penyiraman

Contoh aturan-aturan fuzzy :

- **If** tanah basah **And** temperatur panas, **Then** lamanya penyiraman pendek
- **If** mobil bergerak cepat **And** permukaan jalan kering, **Then** pengereman keras
- **If** air pancuran terlalu panas, **Then** naikkan aliran air dingin perlahan lahan

Meskipun aturan aturan tersebut kelihatan bebas dalam bentuk bahasa alami, mereka dibatasi oleh istilah istilah linguistik, serta sintaksis yang baku. Sintaksis tersebut adalah :

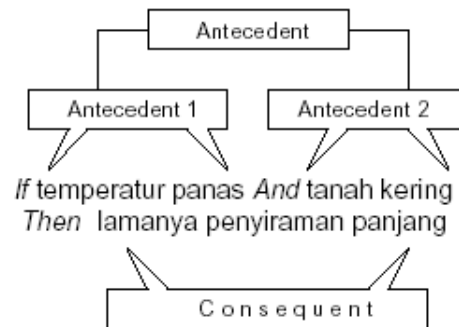
If antecedent 1 And antecedent 2 Then consequent 1 And cosequent 2.....

Dimana :

And adalah salah satu operator logika fuzzy yang diijinkan,

Antecedent adalah bentuk dari : Variable masukan = Label (contohnya : temperatur = panas, dimana temperatur adalah variabel masukan dan panas adalah salah satu label fungsi keanggotaan yang berhubungan dengan temperatur).

Consequent adalah bentuk : variabel keluaran = Label (contohnya : lamanya penyiraman = panjang atau, secara bahasa, lamanya penyiraman panjang)



Gambar 2.18. Representasi Rule

Aturan aturan mengikuti perilaku umum sistem dan ditulis dalam pola label linguistik fungsi keanggotaan. Untuk dua masukan, satu sistem keluaran aturan tersebut dapat ditulis dalam bentuk matriks seperti gambar disebelah kanan. Sebagai catatan bahwa pendekatan intuitif sistem dapat menggantikan perhitungan matematis yang pasti yang mungkin dibutuhkan untuk menggambarkan fisik yang dimaksud dari sistem.

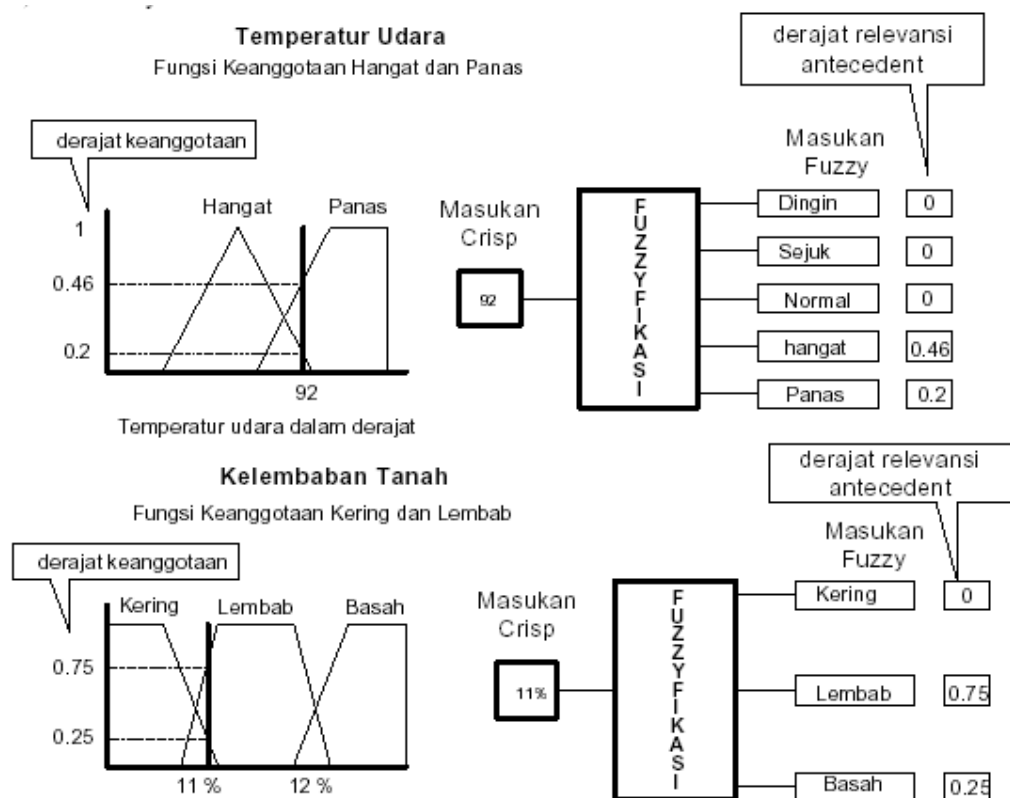
		Antecedent 1				
		Temperatur				
		Dingin	Sejuk	Normal	Hangat	Panas
Antecedent 2	K E L E M B A B A N					
	Basah	Pendek	Pendek	Pendek	Pendek	Pendek
	Lembab	Pendek	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
	Kering	Panjang	Panjang	Panjang	Panjang	Panjang

Gambar 2.19. FAM (Fuzzy Asosiatif Memory)

Aturan aturan contoh yang diambil dari gambar 2.19 diatas sebagai berikut :

- **If temperatur panas And tanah kering, Then lamanya penyiraman panjang**
- **If temperatur dingin And tanah basah Then lamanya penyiraman pendek**

Langkah berikutnya dalam evaluasi rule adalah mengevaluasi hubungan atau derajat keanggotaan antecedent setiap aturan. Untuk mengetahui hubungan tiap antecedent, perpanjang garis referensi vertikal melalui masukan crisp (nilai X) dan dapatkan nilai Y dimana keduanya berpotongan pada fungsi keanggotaan. Dalam sistem penyiraman, masukan temperatur udara 92 derajat fahrenheit ditemukan pada perpotongan di titik 0,2 set fuzzy “hangat” dan 0,46 set fuzzy “panas”. masukan kelembaban tanah 11 % akan didapatkan pada perpotongan 0,25 set fuzzy kering dan 0,75 set fuzzy lembab.



Gambar 2.20. Rule Inferensi

Sekali hubungan dari tiap antecedent telah ditentukan, langkah berikutnya adalah mendapatkan derajat kebenaran (rule strength) untuk setiap rule. Saat antecedent dihubungkan melalui operator “AND”, rule strength mengasumsikan nilai nilai strength terkecil dari antecedent rule. Nilai minimum ini yang akan menjadi nilai kebenaran bagi rule tersebut.

Tabel 2.1. Contoh Penentuan Rule Strength

Rule	Rule Strength
If <u>temperatur panas</u> (0.46) AND <u>tanah kering</u> (0.25) Then <i>lama penyiraman panjang</i>	0,25
If <u>temperatur hangat</u> (0.2) AND <u>tanah lembab</u> (0.75) Then <i>lama penyiraman sedang</i>	0,2
If <u>temperatur hangat</u> (0.2) AND <u>tanah kering</u> (0.25) Then <i>lama penyiraman panjang</i>	0,2
If <u>temperatur panas</u> (0.46) AND <u>tanah lembab</u> (0.75) Then <i>lama penyiraman sedang</i>	0,46

Info tambahan untuk operator

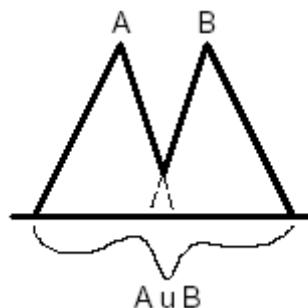
- Dua operator utama dalam crisp sebagaimana diketahui dengan baik dalam teori set fuzzy adalah IRISAN (dasar untuk operator logika AND) dan GABUNGAN (dasar untuk logika OR)
- Dengan operator fuzzy AND zاده, minimum nilai kebenaran antecedent dipilih untuk menentukan rule strength keseluruhan.
- Dengan operator fuzzy OR zاده, maksimum nilai kebenaran antecedent akan dipilih. Tetapi , direkomendasikan menggunakan operator AND dalam keadaan apapun bila memungkinkan.
- Operator logika fuzzy yang lainnya adalah NOT. Jika X mempunyai nilai

kebenaran 0,3 (seperti contoh sebelumnya), maka not X mempunyai nilai kebenaran 0,7. sebagai catatan bahwa dalam fungsi utama, sebagai contoh, “Panas” menghasilkan nilai 0,9 pada derajat keanggotaan, maka NOT Panas akan menghasilkan nilai 0,1 pada derajat keanggotaan.

- Operasi utama dalam set fuzzy, AND, OR, dan NOT, sama seperti set klasik, meskipun didefinisikan sedikit berbeda.
- Operasi logika fuzzy OR berkorespondensi dengan union (gabungan) dari dua set fuzzy. Gabungan dua set fuzzy A dan B, dengan fungsi derajat keanggotaan $\mu_A [X]$ dan $\mu_B [X]$ secara umum adalah :

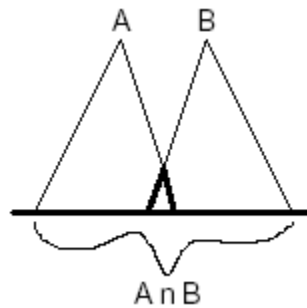
$$\mu_{A \cup B}[X] = \text{MAX} [\mu_A [X], \mu_B [X]]$$

Untuk seluruh nilai X. Dengan kata lain, gabungan dua set fuzzy ditentukan dengan mengambil nilai maksimum dari dua fungsi keanggotaan.



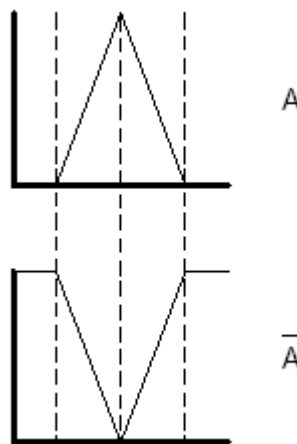
- Operasi logika AND berkorespondensi dengan interseksi /irisan dua set. Interseksi dua set ditentukan dengan mengambil nilai minimum dari dua fungsi keanggotaan.

$$\mu_{A \cap B}[X] = \text{MIN} [\mu_A [X], \mu_B [X]] \text{ untuk semua nilai } X$$

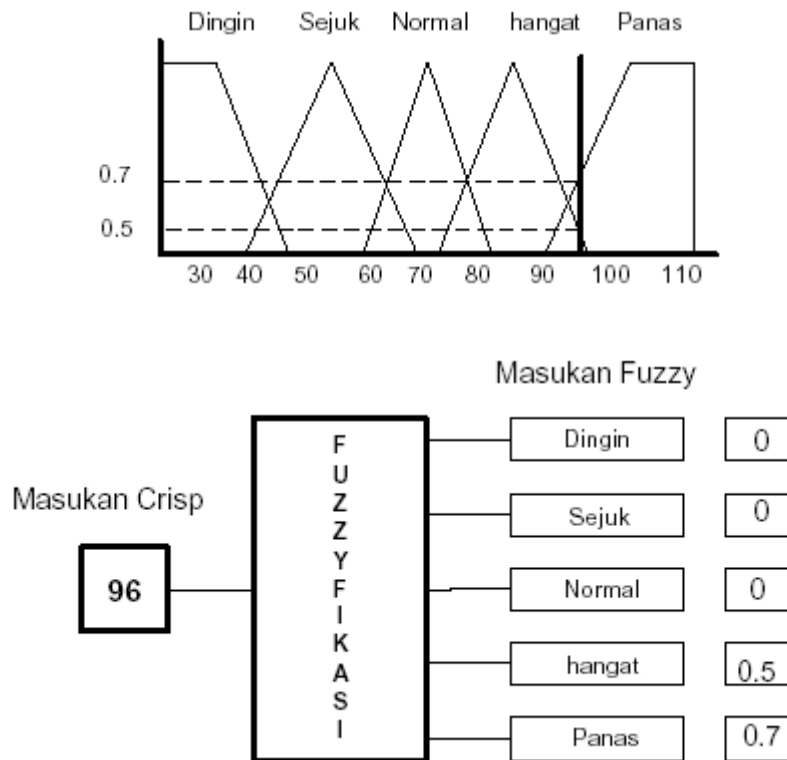


- Operasi logika NOT berkorespondensi dengan komplemen dari set tunggal. Komplemen set fuzzy A, dilukiskan dengan simbol Not A adalah :

$$\mu_{\text{Not.A}}[x] = 1 - \mu_A[x] \text{ untuk semua nilai } X.$$



Untuk mengetahui bagaimana perubahan dalam temperatur masukan mempengaruhi nilai kebenaran dari empat contoh rule yang telah kita definisikan untuk sistem penyiraman sebelumnya anda dapat melihat gambar yang ada dibawah ini. Perhatikan bagaimana perubahan temperatur dihasilkan dalam rule fadingin dan rule fading out akibat impact sebagai temperatur masukan yang mengakibatkan rule rule tersebut berarti atau tidak sama sekali. Perbedaan yang tajam dengan sistem yang konvensional yang mungkin mengeksekusi subrutin yang berbeda untuk kategori temperatur yang berbeda pula.



Gambar 2.21. Blok Fuzzifikasi Untuk Masukan Crisp Temperatur 96 ° F

Tabel 2.2. Contoh Penentuan Rule Strength

Rule	Rule Strength
If <u>temperatur panas</u> (0.7) AND <u>tanah kering</u> (0.25) Then lama penyiraman panjang	0,25
If <u>temperatur hangat</u> (0.05) AND <u>tanah lembab</u> (0.75) Then lama penyiraman sedang	0,05
If <u>temperatur hangat</u> (0.05) AND <u>tanah kering</u> (0.25) Then lama penyiraman panjang	0,05
If <u>temperatur panas</u> (0.7) AND <u>tanah lembab</u> (0.75) Then lama penyiraman sedang	0,7

Langkah berikutnya adalah menentukan keluaran fuzzy dengan membandingkan rule strength dari seluruh rule yang dispesifikasikan oleh label consequent yang sama (contohnya, aksi keluaran), untuk temperatur masukan 92 derajat fahrenheit dan kelembaban tanah 11% dapat anda liat bahwa rule 2 dan 4 memiliki aksi yang sama, yaitu lamanya penyiraman sedang, dengan perbedaan rule strength, serta rule 1 dan 3 mengindikasikan durasi yang panjang, juga dengan rule strength yang berbeda. Saat hal ini menjadi suatu masalah, keluaran fuzzy ditentukan dengan rule strength yang memiliki nilai tertinggi dari aksi keluaran yang sama. Sehingga hanya ada satu keluaran fuzzy untuk setiap keluaran label fungsi keanggotaan.

Sebagai contoh, jika aksi keluaran dari fokus kita adalah lamanya penyiraman panjang maka nilai rule strength tertinggi untuk seluruh rule dari aksi keluaran yang sama akan menjadi label keluaran panjang untuk semua keluaran fuzzy.

Tabel 2.3. Contoh Penentuan Rule Strength

Rule	Rule Strength
Rule 1 : IF temperatur panas (0.46) AND tanah kering (0.25) THEN lama penyiraman panjang	0.25
Rule 2: IF temperatur hangat (0.2) AND tanah lembab (0.75) THEN lama penyiraman sedang	0.2
Rule 3: IF temperatur hangat (0.2) AND tanah kering (0.25) THEN lama penyiraman panjang	0.2
Rule 4 : IF temperatur panas (0.46) AND tanah lembab (0.75) THEN lama penyiraman sedang	0.46

Dari keempat rule tersebut maka dapat ditentukan keluaran Fuzzy adalah **0.25** untuk *panjang* dan **0.46** untuk *sedang*

Secara intuitif, jika banyak rule digunakan untuk sebuah aksi keluaran, satu yang paling besar dipakai. Dalam bentuk yang paling sederhana, jika dua atau lebih rule dipakai untuk memberikan pengaruh yang sama pada keluaran, rule yang paling berarti memberikan nilai kebenaran yang akan mendominasi.

Sebagai Kesimpulan langkah langkah dalam evaluasi rule adalah :

- Buat rule yang menggambarkan perilaku sistem tujuan
- Untuk nilai masukan crisp, tentukan derajat kebenaran tiap antecedent menggunakan transformasi fuzzyfikasi.
- Dapatkan strength dari keseluruhan rule, yaitu nilai minimum derajat kebenaran antecedent.
- Turunkan keluaran fuzzy, yaitu nilai maksimum rule strength untuk setiap label qonsequent.

Secara diagram alur dapat digambarkan seperti gambar berikut ini mulai dari penyusunan rule sampai dengan keluaran fuzzy untuk setiap label consequent.

Prosedur Evaluasi Rule



Gambar 2.22. Diagram Alur Evaluasi Rule

Metode evaluasi rule yang digunakan disini dinamakan inference “MIN-MAX”, karena ia mengambil nilai minimum antecedent untuk menentukan rule strength dan nilai maksimum rule strength untuk setiap qonsequent untuk menentukan keluaran fuzzy. Dalam langkah berikutnya, Defuzzyfikasi, keluaran difuzzikan, lamanya penyiraman adalah pendek, panjang, sedang, akan dikombinasikan kedalam aksi keluaran crisp tunggal. Jika pada bagian evaluasi rule ini anda masih mengalami kebingungan kami sarankan agar anda membaca lagi sampai anda benar benar mengerti dan faham sebelum anda melangkah ke bagian selanjutnya yakni **DEFUZZYFIKASI**.

2.4 Defuzzyfikasi

Dalam defuzzyfikasi, seluruh keluaran fuzzy yang signifikan (seperti, lamanya penyiraman pendek, panjang, dan sedang), akan dikombinasikan kedalam variabel keluaran yang spesifik, dan hasil yang komprehensif. Dalam proses ini seluruh nilai keluaran fuzzy secara efektif memodifikasi fungsi keanggotaan keluarannya. Seperti yang anda ketahui dalam evaluasi rule, dengan menyimpan rule strength yang terbesar untuk tiap qonsequent, rule yang paling benar akan mendominasi. Satu dari banyak teknik defuzzyfikasi yang paling sering digunakan adalah Center of Gravity (COG) atau metode centroid. Dalam metode ini, tiap fungsi keanggotaan keluaran diatas nilai yang ditunjukkan oleh masing masing keluaran fuzzydi truncated (dipepat / dipotong).

Hasil “clipped”/”potongan” fungsi keanggotaan kemudian dikombinasikan dan keseluruhan center of gravity dihitung. Pemapatan tersebut dinamakan dengan lamda cut.



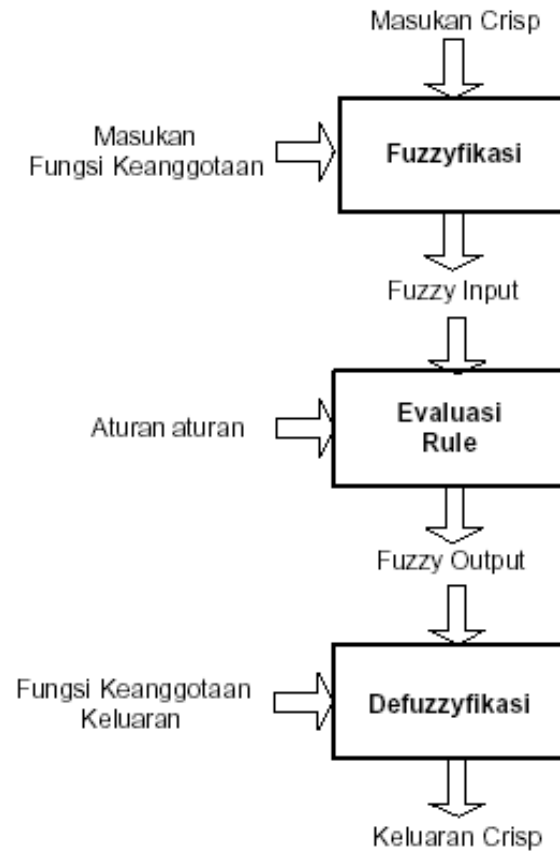
Gambar 2.23. Keluaran Fuzzy

Lamda-cut (λ - cut) membatasi kebenaran maksimum daerah fuzzy, atau fungsi keanggotaan. Untuk setiap μA

$$\mu A(x) = \min (\mu A[x], \lambda\text{-cut})$$

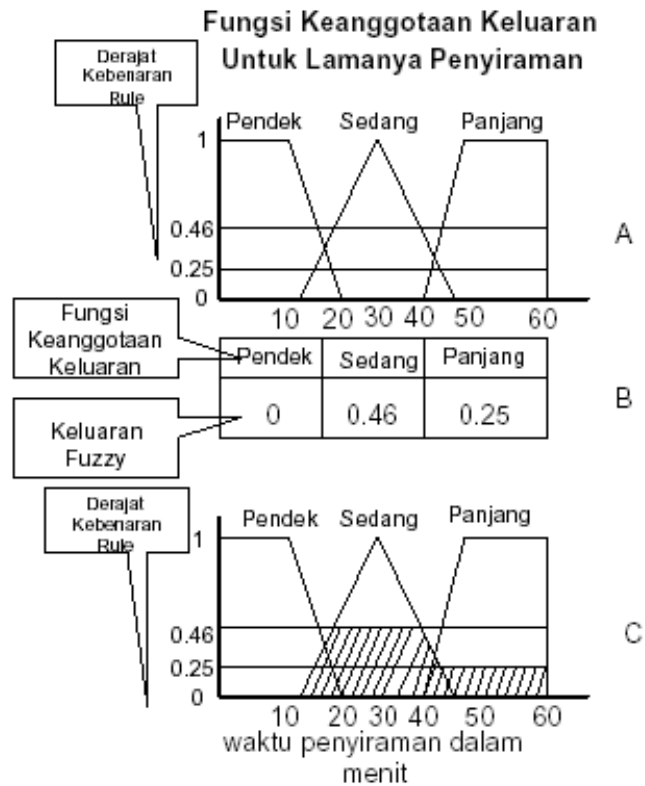
Tidak seperti alpha-cut threshold yang ditetapkan oleh pembuat (atau user dalam beberapa contoh), lamda threshold ditentukan oleh fuzzy inference selama proses eksekusi. Contoh utama lamda-cut adalah pemotong fungsi keanggotaan pada tingkatan akhir proses evaluasi rule.

Dalam contoh sistem penyiraman yang lalu, saat temperatur 92 derajat fahrenheit dan kelembaban tanah 11%, fungsi keanggotaan keluaran akan terlihat seperti diagram A dibawah. Keluaran fuzzy untuk setiap fungsi keanggotaan diberikan didalam tabel B. Menggunakan metode COG, fungsi keanggotaan keluaran dipepat seperti ditunjukkan dalam diagram C.

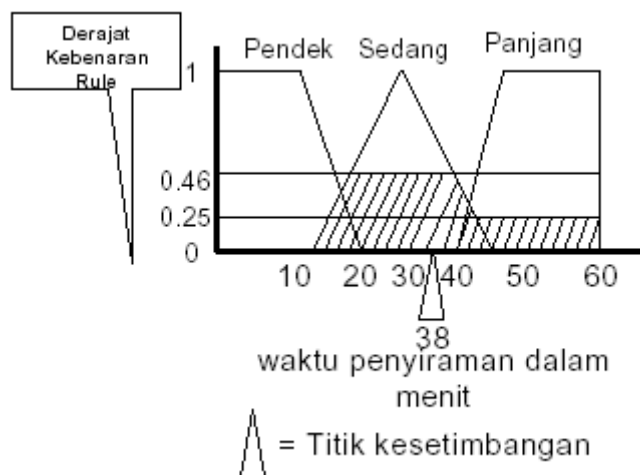


Gambar 2.24. Tahapan Logika Fuzzy

Langkah berikutnya adalah mendapatkan “titik kesetimbangan”, dari “**Center of Gravity**” daerah yang berbayang. Hal ini menggambarkan keluaran di defuzzyfikasikan. Jadi, 38 menit adalah lamanya penyiraman yang tepat untuk kelembaban tanah 11% dan temperatur udara 92 derajat Fahrenheit untuk model fuzzy yang dibentuk terdahulu.



Gambar 2.25. Keluaran Logika Fuzzy



Gambar 2.26. Nilai Crisp Keluaran Logika Fuzzy Berdasarkan Center Of Gravity

Informasi Tambahan Untuk COG

$$\text{Rumus COG adalah : } COG = \frac{\int_a^b \mu(x) \cdot x \cdot dx}{\int_a^b \mu(x) \cdot dx}$$

Dalam praktek, fungsi keanggotaan keluaran singleton (dijelaskan kemudian dalam bab ini) sering digunakan ; fungsi ini menyederhanakan banyak perhitungan defuzzyfikasi. Dalam teori, kita harus menghitung center of gravity pada seluruh titik dari domain keluaran. Tetapi, kita harus mendapatkan perkiraan yang dapat dipercaya dengan menghitung COG pada titik titik sampel dalam domain keluaran.

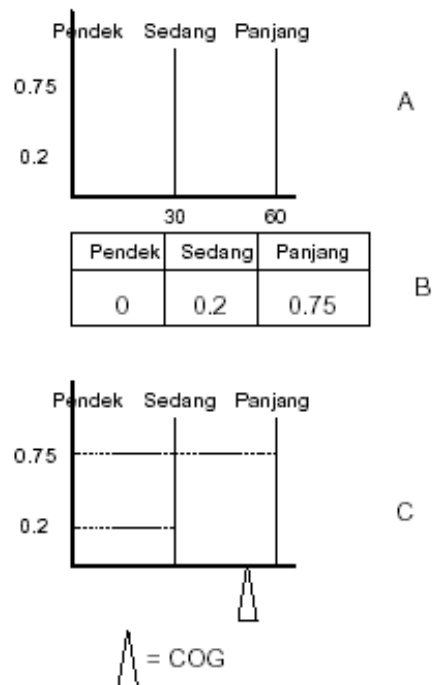
Dengan langkah yang cukup sederhana untuk melengkapi akurasi tanpa waktu yang terlalu lama. Metode Defuzzyfikasi COG dapat juga diterapkan pada fungsi keanggotaan keluaran singleton. Fungsi keanggotaan keluaran singleton diwakili oleh titik titik dalam ruang keluaran dan juga tidak memiliki massa. Pemepatan fungsi keanggotaan keluaran memberikan hasil dalam pengurangan ketinggiannya seperti diilustrasikan dalam gambar dibawah ini.

Menggunakan metode defuzzyfikasi COG, keluaran nilai nilai singleton dikombinasikan menggunakan bobot rata-rata. Rumus COG untuk perhitungan reduksi singleton adalah :

$$Keluaran Crisp (y) = \frac{\sum_i (Keluaran Fuzzy_i) \cdot (Posisi Singleton Sumbu X_i)}{\sum_i (Keluaran Fuzzy_i)}$$

Untuk contoh yang diilustrasikan pada gambar 2.27 adalah :

$$Keluaran Crisp (y) = \frac{(0) \cdot (0) + (0.25) \cdot (30) + (0.75) \cdot (60)}{0 + 0.25 + 0.75} = 52.5$$



Gambar 2.27. Center Of Gravity

Catat bahwa secara intuitif anda akan berharap bahwa keluaran defuzzyfied akan mendekati 60 daripada ke 0. Catat juga bahwa perhitungan intensif yang kurang berarti dibandingkan dengan metode yang dijelaskan sebelumnya.

Ada syarat dalam mengadopsi set fuzzy yang umum atau singleton untuk menggambarkan variable keluaran. Selama defuzzyfikasi menggunakan COG, singleton sedikit membutuhkan waktu komputasi, namun set non-singleton mungkin memberikan keluaran lebih konsisten dengan yang anda harapkan untuk kontrol yang lebih detail.

Bagian metodologi dari program ini akan menghadirkan petunjuk untuk memilih metode defuzzyfikasi yang lebih cocok untuk sebuah aplikasi. Metode defuzzyfikasi yang umum adalah (COG) keluaran fungsi keanggotaan bentuk tidak tertentu (COG) keluaran fungsi keanggotaan bentuk singleton

2.5 Pengulangan Proses

Aplikasi logika fuzzy dapat menyederhanakan masalah – masalah pengontrolan. Untuk menyegarkan ingatan, nilai masukan crisp menentukan rule yang mana yang diplikasikan serta nilai derajatnya. Perubahan kecil dalam nilai masukan crisp akan memberikan hasil dalam perubahan kecil dari aplikasi derajat rule. Seiring perubahan masukan crisp, rule yang baru dapat mulai diaplikasikan sebagai pengganti berkurangnya kepentingan rule yang lama. Perubahan ini kecil sekali dan sering memberikan kinerja sistem yang lebih unggul.

Rule memberikan gambaran intuitif untuk perilaku sistem. Hal ini dapat menggantikan alternatif konvensional yang kompleks yang mengandung komputasi intensif berdasarkan pada properti fisik yang mengatur perilaku tersebut. Pengurangan kekompleksan matematis ini dapat memberikan anda kemampuan dalam meningkatkan feature produk tanpa menambah ongkos. Sejak jumlah rule menjadi sedikit (sering kurang dari 20), waktu pengembangan berkurang dan perusahaan anda dapat memasuki pasar dengan lebih cepat.

Sekali lagi tiga langkah utama dalam memproses logika fuzzy adalah sebagai berikut :

- Fuzzyfikasi – proses memetakan nilai masukan sistem kedalam masukan fungsi keanggotaan untuk menentukan resultan nilai kebenaran untuk setiap label (fungsi keanggotaan), hasilnya adalah masukan fuzzy.
- Evaluasi Rule – Perhitungan relatif yang dapat digunakan, atau “nilai kebenaran” tiap rule. Dalam inferen MIN-MAX, hal ini sama dengan nilai minimum antedecedent (masukan fuzzy) untuk

rule tersebut. Keluaran fuzzy dihitung dengan menentukan nilai maksimum rule strength untuk tiap label keluaran.

- Defuzzyfikasi COG – Proses penghitung center of gravity (COG) seluruh keluaran fuzzy untuk variabel keluaran yang diberikan untuk menentukan besarnya nilai keluaran crisp.

BAB III

METODE – METODE DEFUZZYFIKASI

Seperti yang telah dibahas dalam bab 2, bahwa untuk merubah keluaran fuzzy menjadi nilai crisp maka diperlukan suatu proses yang lebih dikenal dengan istilah defuzzyfikasi. Dalam bab dua juga telah dibahas salah satu metode defuzzyfikasi yaitu Center of Gravity. Sebenarnya masih ada beberapa metode yang bisa diterapkan untuk melakukan defuzzyfikasi yaitu :

1. Max-Membership Principle
2. Centroid Methode
3. Weighted Average Are Methode
4. Mean Max Membership
5. Center Of Sum
6. Center Of Largest Area
7. First Of Maxima

3.1. Max – Membership Principle

Metode ini juga dikenal sebagai metode tinggi. Hal ini dikarenakan bahwa dalam menentukan keluaran crisp dilakukan pada derajat keanggotaan (DOM = Degree Of Membership) atau rule strength yang tertinggi dari keluaran fuzzy yang terjadi. Jadi nilai crisp yang dipilih adalah merupakan nilai crisp yang menyebabkan derajat keanggotaan yang paling tinggi.

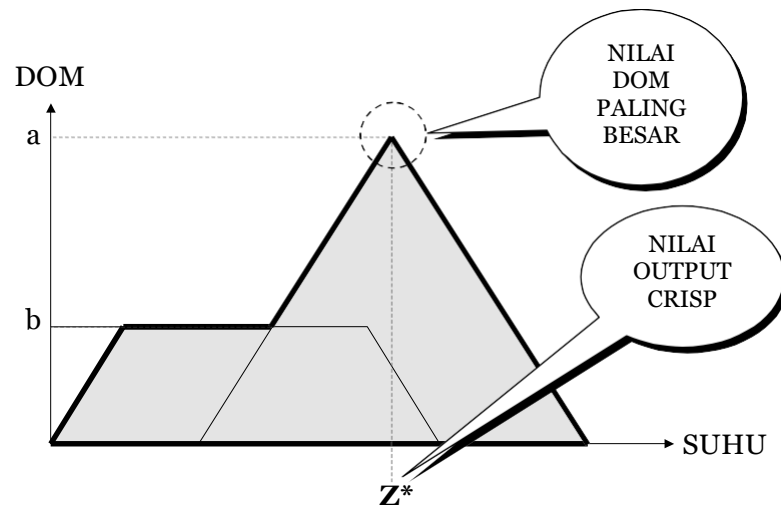
Secara matematis :

$$\text{DOM} \{ Z^* \} \square \text{DOM} \{ Z \}$$

Dimana :

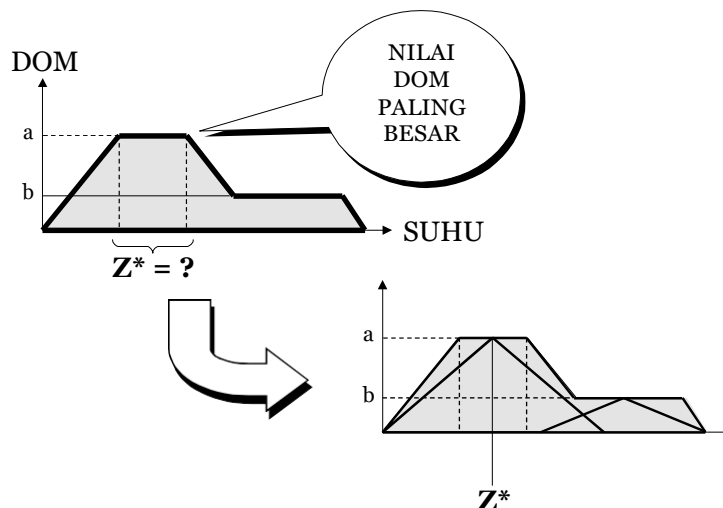
Z^* = Output CRISP

Z = Nilai CRISP yang tercakup dalam keluaran Fuzzy



Gambar 3.1. Metode Max – Membership Principles

Metode ini akan mengalami sedikit modifikasi jika keluaran fuzzy memiliki beberapa titik dimana memiliki DOM yang sama tingginya. Hal ini akan lebih jelas dengan gambar berikut ini.



Gambar 3.2. Metode Max – Membership Principles Yang Dimodifikasi

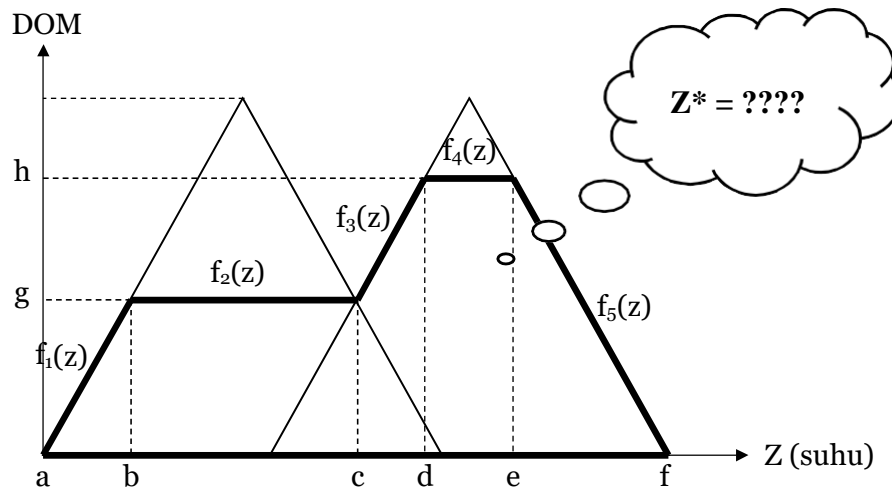
3.2. Centroid

Metode ini lebih dikenal dengan metode **Center Of Area** (COA) atau pusat dari suatu area. Nilai crisp keluaran ditentukan dari titik pusat dari luasan keluaran fuzzy yang ada.

$$\text{Secara Matematis : } Z^* = \frac{\int f(z) \cdot z \cdot dz}{\int f(z) \cdot dz}$$

Untuk memperjelas metode ini berikut ini disampaikan contoh keluaran fuzzy seperti pada gambar 3.3. Keluaran fuzzy tersebut akan didefuzzyfikasi dengan metode centroid. Pada gambar 3.2 menunjukkan bahwa persamaan $f(z)$ berubah-ubah, yaitu :

$$f(z) = \begin{cases} f_1(z) & , \text{ untuk } a \leq z < b \\ f_2(z) & , \text{ untuk } b \leq z < c \\ f_3(z) & , \text{ untuk } c \leq z < d \\ f_4(z) & , \text{ untuk } d \leq z < e \\ f_5(z) & , \text{ untuk } e \leq z < f \end{cases}$$



Gambar 3.3. Keluaran Fuzzy

Perhitungan nilai crisp keluaran dengan metode centroid melingkupi batas antara a sampai dengan f, maka perhitungan integral harus dipecah.

$$Z^* = \frac{\int_a^f f(z) \cdot z \cdot dz}{\int_a^f f(z) \cdot dz}$$

$$Z^* = \frac{\int_a^b f_1(z) \cdot z \cdot dz}{\int_a^b f_1(z) \cdot dz} + \frac{\int_b^c f_2(z) \cdot z \cdot dz}{\int_b^c f_2(z) \cdot dz} + \frac{\int_c^d f_3(z) \cdot z \cdot dz}{\int_c^d f_3(z) \cdot dz} +$$

$$\frac{\int_d^e f_4(z) \cdot z \cdot dz}{\int_d^e f_4(z) \cdot dz} + \frac{\int_e^f f_5(z) \cdot z \cdot dz}{\int_e^f f_5(z) \cdot dz}$$

Metode centroid memiliki perhitungan yang cukup rumit dan panjang, akan tetapi mampu menghasilkan ketelitian yang cukup tinggi.

3.3. Weighted Average Area

Metode ini hanya tepat dipergunakan jika bentuk fungsi keanggotaan yang dipergunakan adalah fungsi keanggotaan yang bentuknya simetris.

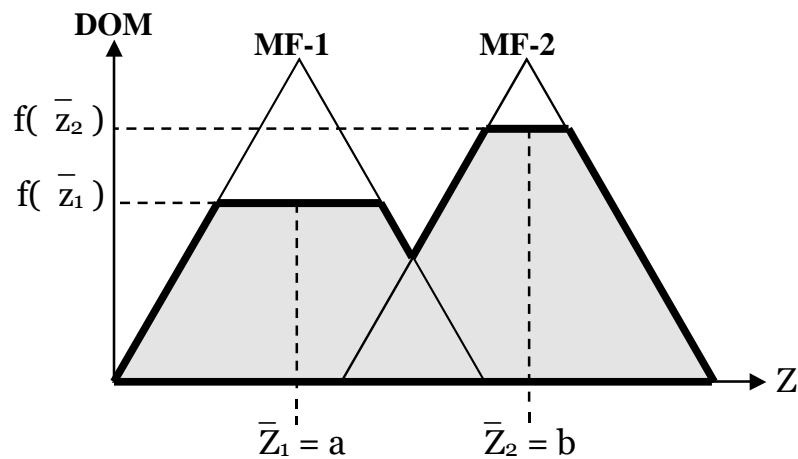
Secara matematis dapat dinyatakan :
$$Z^* = \frac{\sum f(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum f(\bar{z})}$$

Dimana :

\bar{z} = titik tengah tiap MF

$f(\bar{z})$ = DOM pada saat $z = \bar{z}$

Untuk memperjelas metode Weighted Average Area, berikut ini disampaikan contoh keluaran fuzzy seperti pada gambar 3.4. Keluaran fuzzy tersebut akan didefuzzyfikasi sehingga akan didapatkan nilai crisp keluaran yang sesuai dengan keluaran fuzzynya.



Gambar 3.4. Contoh Keluaran Fuzzy Logic

Perhitungan nilai crisp keluaran dengan metode weighted average area

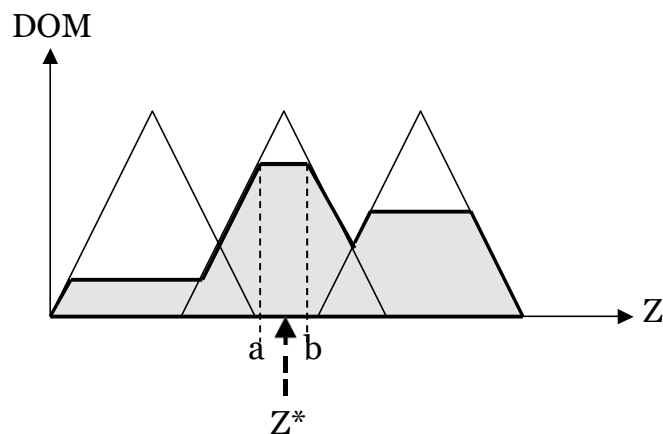
dapat dilakukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Z^* &= \frac{\sum f(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum f(\bar{z})} \\
 &= \frac{f(\bar{z}_1) \cdot \bar{z}_1 + f(\bar{z}_2) \cdot \bar{z}_2}{f(\bar{z}_1) + f(\bar{z}_2)}
 \end{aligned}$$

3.4. Mean – Max Membership

Metode ini sama dengan metode pertama, hanya jika titik max tidak tunggal. Nilai crisp keluaran (Z^*) ditentukan dari rata-rata atau titik tengah dari nilai crisp (Z) yang memiliki derajat keanggotaan tertinggi. Karena itu metode ini juga disebut sebagai **MIDDLE OF MAXIMA**.

Untuk memperjelas metode ini, berikut ini disampaikan contoh keluaran fuzzy seperti pada gambar 3.5. Keluaran fuzzy tersebut akan didefuzzyfikasi sehingga akan didapatkan nilai crisp keluaran yang sesuai dengan keluaran fuzzynya.



Gambar 3.5. Contoh Keluaran Fuzzy Logic

Dengan metode ini maka nilai crisp keluaran ditentukan dengan memilih titik tengah antara a dan b. Hal ini dikarenakan antara a dan b memiliki derajat keanggotaan yang paling tinggi.

$$Z^* = \frac{a+b}{2}$$

3.5. Center Of Sum

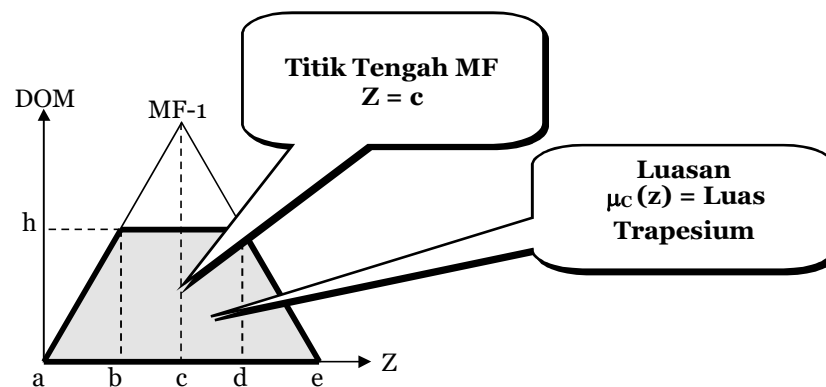
Metode ini mirip dengan metode **WEIGHTED AVERAGE AREA**.

Secara matematis dapat dinyatakan :
$$Z^* = \frac{\int_z \sum_{k=1}^n z \cdot \mu_{ck}(z) \cdot dz}{\int_z \sum_{k=1}^n \mu_{ck}(z) \cdot dz}$$

Dimana :

z = Titik tengah dari tiap-tiap MF

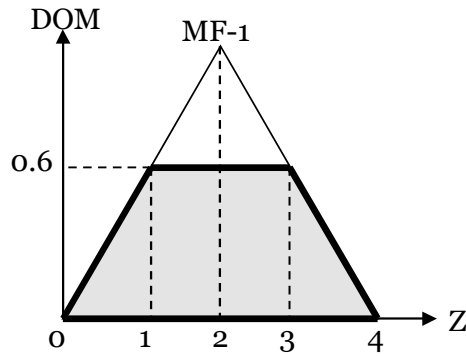
μ_{ck} = Luasan tiap MF yang mewakili DOM



Gambar 3.6. Contoh Keluaran Fuzzy Logic

Untuk memperjelas metode ini, berikut ini disampaikan contoh keluaran fuzzy seperti pada gambar 3.7. Keluaran fuzzy tersebut akan didefuzzyfikasi

sehingga akan didapatkan nilai crisp keluaran yang sesuai dengan keluaran fuzzynya.



Gambar 3.7. Contoh Keluaran Fuzzy Logic

Dengan metode center of sum, maka nilai crisp keluaran yang sesuai dengan keluaran fuzzy logic pada gambar 3.7 dapat ditentukan sebagai berikut.

Dari gambar 3.7 didapatkan :

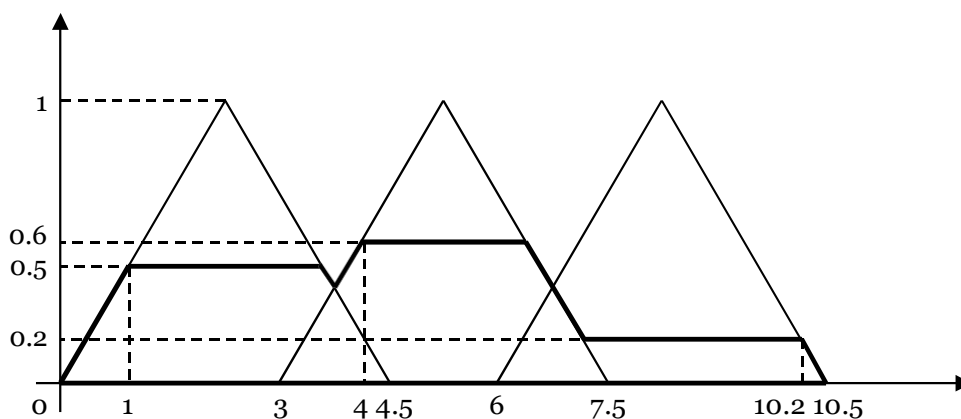
$$\begin{aligned} Z &= \text{titik tengah dari fungsi keanggotaan} \\ &= 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{CK} &= \text{luas trapesium} \\ &= 1,8 \end{aligned}$$

$$Z^* = \frac{\int_0^4 (2 \cdot 1,8) dz}{\int_0^4 (1,8) dz}$$

Sebagai contoh yang berikutnya, berikut ini disampaikan contoh keluaran

fuzzy seperti pada gambar 3.8. Keluaran fuzzy tersebut akan didefuzzyfikasi dengan metode center of sum, sehingga akan didapatkan nilai crisp keluaran yang sesuai dengan keluaran fuzzynya.



Gambar 3.8. Contoh Keluaran Fuzzy Logic

Berdasarkan gambar 3.8 di atas, maka dapat kita tentukan titik tengah (z) dan luas tiap fungsi keanggotaan yang mewakili derajat keanggotaan (μ_{CK}) dari tiap-tiap fungsi keanggotaan yang ada sebagaimana tertera pada tabel 3.1.

Tabel 3.1

Fungsi Keanggotaan	Titik Tengah (z)	Luasan DOM (μ_{CK})	Keterangan
1	2,25	1,75	Luas trapesium
2	5,25	2,1	Luas trapesium
3	8,25	0,84	Luas trapesium

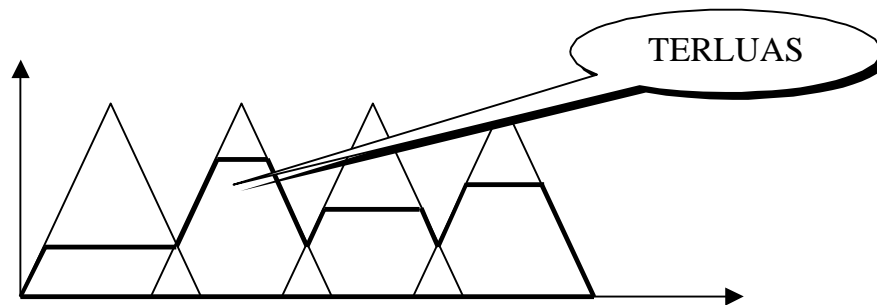
Berdasarkan nilai – nilai yang tertera pada tabel 3 tersebut di atas maka selanjutnya dapat ditentukan besarnya nilai crisp yang sesuai sebagai hasil

defuzzyfikasi dengan metode center of sum.

$$\begin{aligned}
 Z^* &= \frac{\int_0^{10,5} (2,25 \cdot 1,75 + 5,25 \cdot 2,1 + 8,25 \cdot 0,84) dz}{\int_0^{10,5} (1,75 + 1,75 + 0,84) dz} \\
 &= \frac{\int_0^{10,5} (20,055) dz}{\int_0^{10,5} (4,34) dz} \\
 &= \frac{[20,055 \cdot z]_0^{10,5}}{[4,34 \cdot z]_0^{10,5}} \\
 &= \frac{(20,055 \cdot 10,5 - 20,055 \cdot 0)}{(4,34 \cdot 10,5 - 4,34 \cdot 0)} \\
 &= 4,621
 \end{aligned}$$

3.6. Center Of Largest Area

Metode ini pada dasarnya sama dengan metode *centroid* yang telah dibahas pada sub-bab sebelumnya. Namun demikian ada sedikit perbedaan antara metode *centroid* dengan *center of largest area*. Pada metode *centroid*, perhitungan yang dilakukan mencakup semua fungsi keanggotaan yang ada. Sedangkan pada metode *center of largest area*, perhitungan hanya dilakukan terhadap fungsi keanggotaan yang memiliki derajat keanggotaan (DOM) yang paling tinggi. Hal ini ditunjukkan pada gambar 3.9 berikut ini.

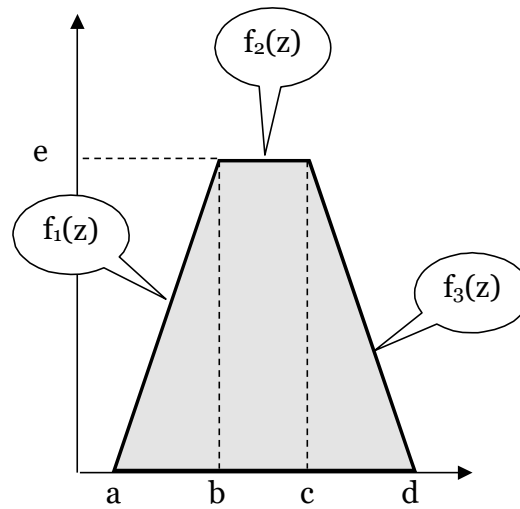


Gambar 3.9. Fungsi Keanggotaan Dengan DOM Tertinggi

Secara matematis, metode *center of largest area* dapat dinyatakan ke dalam suatu persamaan seperti berikut ini :

$$Z^* = \frac{\int f_m(z) \cdot z \cdot dz}{\int f_m \cdot dz}$$

Untuk memperjelas metode ini, berikut ini disampaikan contoh keluaran fuzzy seperti pada gambar 3.10. Keluaran fuzzy tersebut akan didefuzzyfikasi dengan metode *center of largest area*, sehingga akan didapatkan nilai crisp keluaran yang sesuai dengan keluaran fuzzynya.



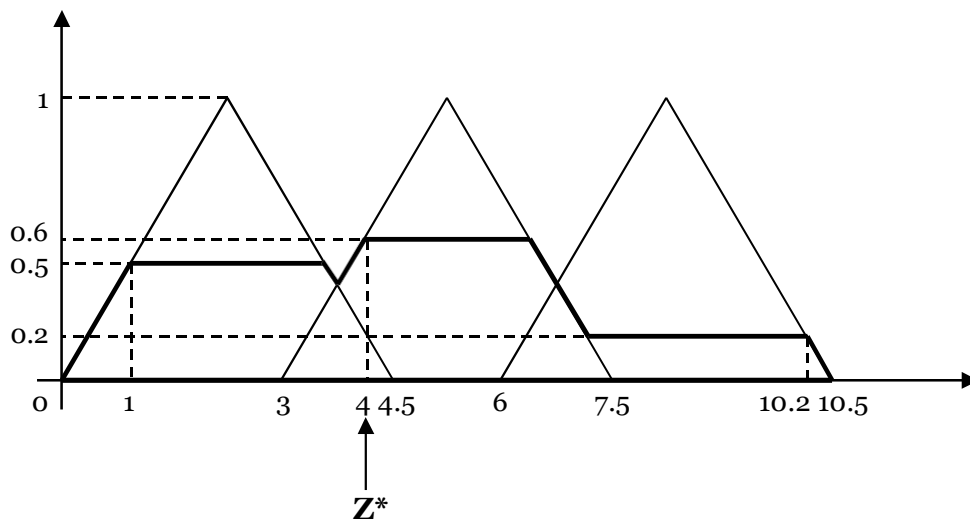
Gambar 3.10. Fungsi Keanggotaan Dengan DOM Tertinggi

Nilai crisp keluaran yang akan didapatkan dengan metode center of largest of area adalah :

$$Z^* = \frac{\int_a^b f(z) \cdot z \cdot dz}{\int_a^b f(z) \cdot dz} + \frac{\int_b^c f(z) \cdot z \cdot dz}{\int_b^c f(z) \cdot dz} + \frac{\int_c^d f(z) \cdot z \cdot dz}{\int_c^d f(z) \cdot dz}$$

3.7. First Of Maxima

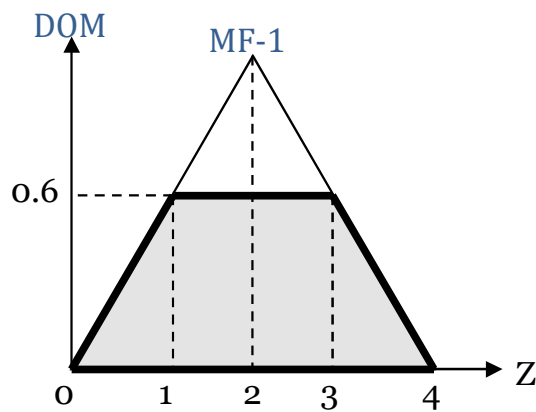
Metode ini sangat sederhana, dimana hampir tidak diperlukan perhitungan matematik yang rumit. Dalam metode ini, penentuan nilai crisp sebagai hasil dari defuzzyfikasi dilakukan dengan memilih nilai crisp pertama/terkecil yang memiliki derajat keanggotaan tertinggi/maksimum. Hal ini dapat dilihat seperti pada gambar 3.11 berikut ini.



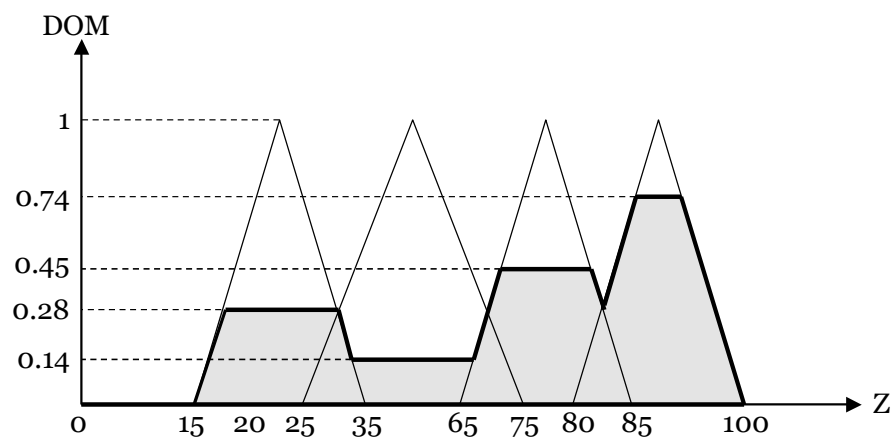
Gambar 3.11. Z^ sebagai Nilai Crisp Terkecil/Pertama Yang Memiliki Derajat Keanggotaan Tertinggi*

3.8. Soal-Soal Latihan

1. Tentukan nilai hasil defuzzyfikasi dengan metode centroid terhadap variabel fuzzy seperti pada gambar berikut ini !

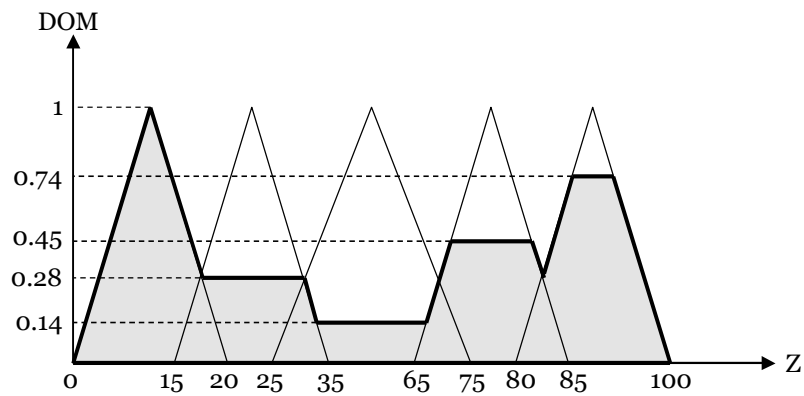


2. Dari variabel fuzzy seperti gambar berikut ini, lakukan defuzzyfikasi dengan metode :
 - a. Mean – Max Membership
 - b. Center of Largest Area
 - c. First of Maxima



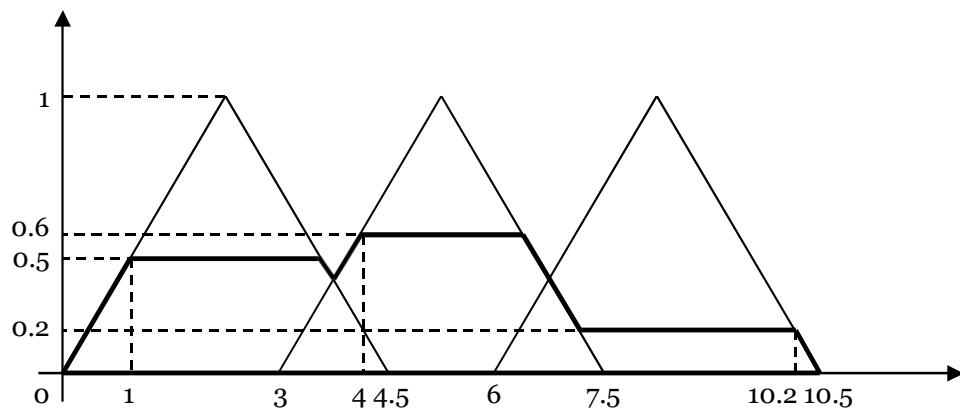
3. Tentukan nilai crisp yang sesuai dengan keluaran fuzzy berikut ini dengan

metode Weighted Average Area terh!



$$Z^* = \text{????}$$

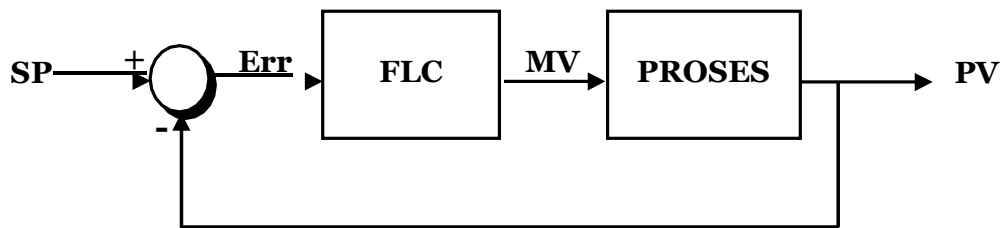
4. Tentukan Hasil defuzzyfikasi dengan metode Center of Largest Area !



BAB IV

SISTEM KENDALI DENGAN FUZZY LOGIC

Salah satu penerapan logika fuzzy adalah sebagai pengendali pada sistem pengendali umpan balik negatif (Negative Feedback Control System). Secara blok diagram, sistem pengendalian dapat digambarkan seperti pada gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1. Blok Diagram Sistem Kendali Dengan Logika Fuzzy

Dimana :

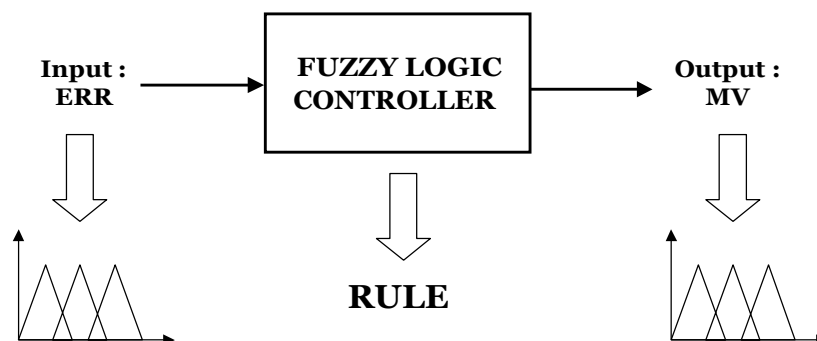
FLC : Fuzzy Logic Controller

SP : Setpoint

PV : Proses Variabel = Output Aktual

Err : Error = $SP - PV$

MV : Manipulated Variable = Sinyal Kendali



Gambar 4.2. Pengendali Logika Fuzzy

Secara lebih detail, pengendali logika fuzzy (**FLC = Fuzzy Logic Controller**) digambarkan seperti pada gambar 4.2, dimana sebagai variabel masukan adalah Err (Error = selisih antara setpoint dengan output proses yang sedang terjadi). Sedangkan sebagai keluaran dari FLC adalah sinyal kendali (**MV = Manipulated Variable**) yang harus diberikan ke proses sehingga pada akhirnya proses akan menghasilkan keluaran (PV = Process Variable) sesuai dengan yang diinginkan (SP = Set Point).

Baik masukan maupun keluaran dari FLC harus dinyatakan kedalam Fuzzy Set yang diwakili atau diwujudkan dalam fungsi keanggotaan (lihat gambar 4.2). Database rule disusun dengan mengacu fungsi keanggotaan dari input dan output fuzzy logic yang ada.

4.1. Pengendali Logika Fuzzy Dengan 2 Input

Untuk meningkatkan kinerja pengendali fuzzy (FLC) maka masukan bagi FLC dikembangkan dengan menjadi dua. Kedua masukan tersebut adalah : *Error* dan *Change of Error*. Secara Blok Diagram :

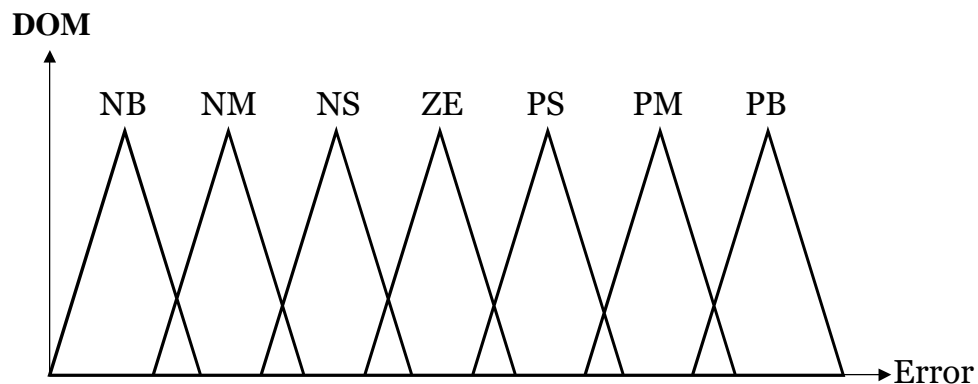


Gambar 4.3. FLC Dengan 2 Masukan

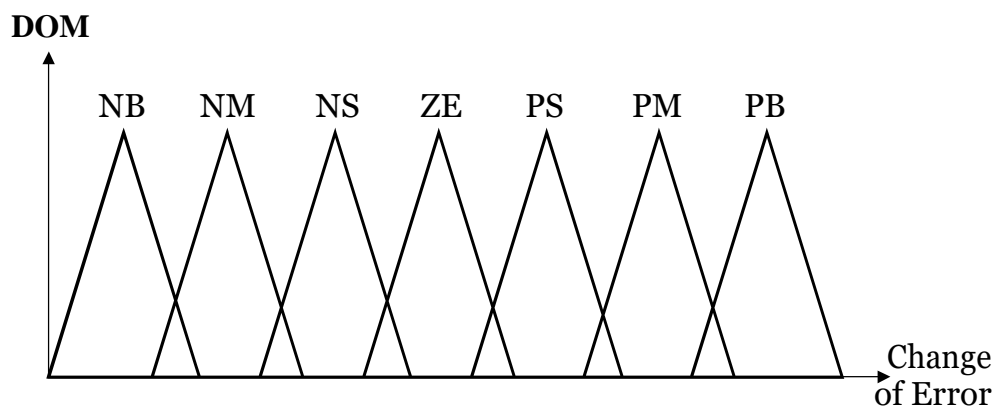
Semua masukan dan keluaran fuzzy logic harus dinyatakan ke dalam fuzzy set yang berupa fungsi keanggotaan. Jumlah fungsi keanggotaan untuk tiap-tiap variabel masukan dan keluaran jangan terlalu sedikit, karena akan mengurangi ketelitian hasil pemrosesan perhitungan oleh fuzzy logic. Akan tetapi jumlah fungsi keanggotaan yang terlalu banyak juga akan memperlambat

proses perhitungan oleh fuzzy logic. Sehingga akan lebih baik jika dipergunakan 5 atau 7 fungsi keanggotaan untuk tiap-tiap variabel masukan dan keluaran yang ada.

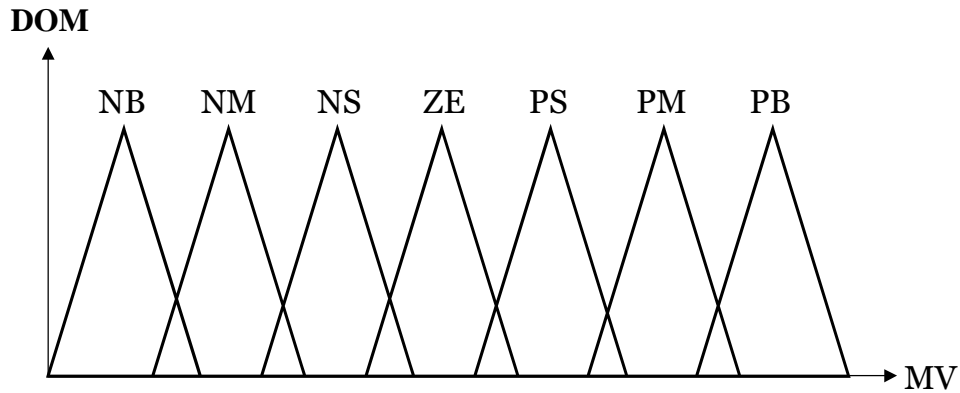
Sebagai contoh jika tiap-tiap variabel masukan dan keluaran yang ada diklasifikasikan ke dalam 7 fungsi keanggotaan. Gambar berikut ini akan memperjelas hal tersebut.



Gambar 4.4. Fuzzy Set untuk variabel masukan Error

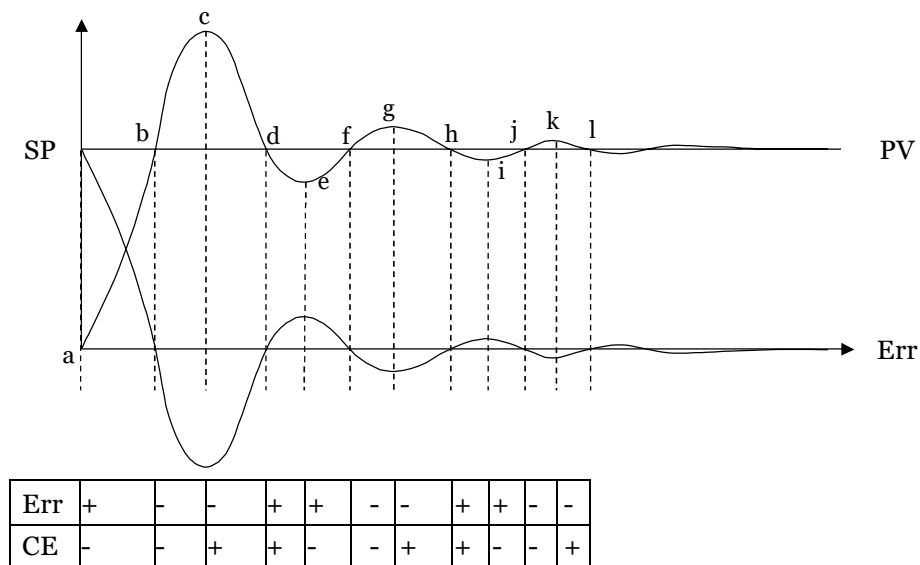


Gambar 4.5. Fuzzy Set untuk variabel masukan Change of Error



Gambar 4.6. Fuzzy Set untuk variabel masukan Manipulated Variable (MV)

Database rule disusun dengan mengacu pada jumlah fungsi keanggotaan dari masukan yang ada. Pada kasus ini ada dua masukan dan masing – masing masukan diklasifikasikan menjadi 7 fungsi keanggotaan. Dengan demikian jumlah rule yang mungkin disusun adalah sebanyak $7 \times 7 = 49$ buah rule. Namun demikian tidak semua rule tersebut harus dipergunakan. Sedikitnya terdapat 19 rule yang cukup penting dalam aplikasi fuzzy logic pada sistem kendali.



Gambar 4.7. Respon Sistem

Berdasarkan gambar 4.7 tersebut dapat ditentukan rule-rule yang penting dan

dapat disusun dalam tabel berikut ini.

Tabel 4.1. Daftar Rule Yang Penting

No	ER	CE	MV	Referensi	Fungsi
1	PB	ZE	PB	Titik a	Memperpendek rise time
2	PM	ZE	PM	Titik e	Memperpendek rise time
3	PS	ZE	PS	Titik i	Memperpendek rise time
4	ZE	NB	NB	Titik b	Mengurangi Overshoot
5	ZE	NM	NM	Titik f	Mengurangi Overshoot
6	ZE	NS	NS	Titik j	Mengurangi Overshoot
7	NB	ZE	NB	Titik c	Mengurangi Overshoot
8	NM	ZE	NM	Titik g	Mengurangi Overshoot
9	NS	ZE	NS	Titik k	Mengurangi Overshoot
10	ZE	PB	PB	Titik d	Mengurangi Osilasi
11	ZE	PM	PM	Titik h	Mengurangi Osilasi
12	ZE	PS	PS	Titik l	Mengurangi Osilasi
13	ZE	ZE	ZE	Setpoint	Braking Sistem
14	PB	NS	PM	a - b	Memperpendek rise time
15	PS	NB	NM	a - b	Mengurangi Overshoot
16	NB	PS	NM	c - d	Mengurangi Overshoot
17	NS	PB	PM	c - d	Mengurangi Osilasi
18	PS	NS	ZE	j - k	Braking Sistem
19	NS	PS	ZE	j - k	Braking Sistem

BAB V

FUZZY LOGIC MATLAB TOOLBOX

Agar dapat menggunakan fungsi-fungsi logika fuzzy yang ada pada Matlab, maka harus diinstallkan terlebih dahulu TOOLBOX FUZZY. Toolbox Fuzzy Logic Toolbox adalah fasilitas yang tersedia dalam program matlab untuk membangun suatu sistem fuzzy logic. Fuzzy Logic Toolbox memberikan fasilitas Graphical User Interface (GUI) untuk mempermudah dalam membangun suatu sistem fuzzy. Pada gambar 5.1 menunjukkan tampilan windows untuk tiap-tiap GUI yang ada dalam Fuzzy Logic

Pada saat kita membangun sistem fuzzy dengan fuzzy logic toolbox, maka kita harus melakukan editing yang meliputi: Jumlah Masukan/Keluaran, Klasifikasi Masukan/Keluaran, Jenis MF Masukan/Keluaran, Rule, Metode Defuzzyfikasi, dst.

Ada 5 GUI tools yang dapat dipergunakan untuk membangun, mengedit, dan mengobservasi sistem penalaran, yaitu :

- **Fuzzy Inference System (FIS) Editor**
- **Membership Function Editor**
- **Rule Editor**
- **Rule Viewer**
- **Surface Viewer**

Dengan memanfaatkan 3 fasilitas GUI yang pertama (FIS Editor, MF Editor dan Rule Editor) kita dapat membaca dan memodifikasi data tentang sistem fuzzy yang akan kita bangun. Sedangkan dengan 2 fasilitas GUI yang lainnya (Rule Viewer dan Surface Viewer), maka kita akan bisa membaca saja tanpa dapat memodifikasi data tentang sistem fuzzy yang telah kita buat.



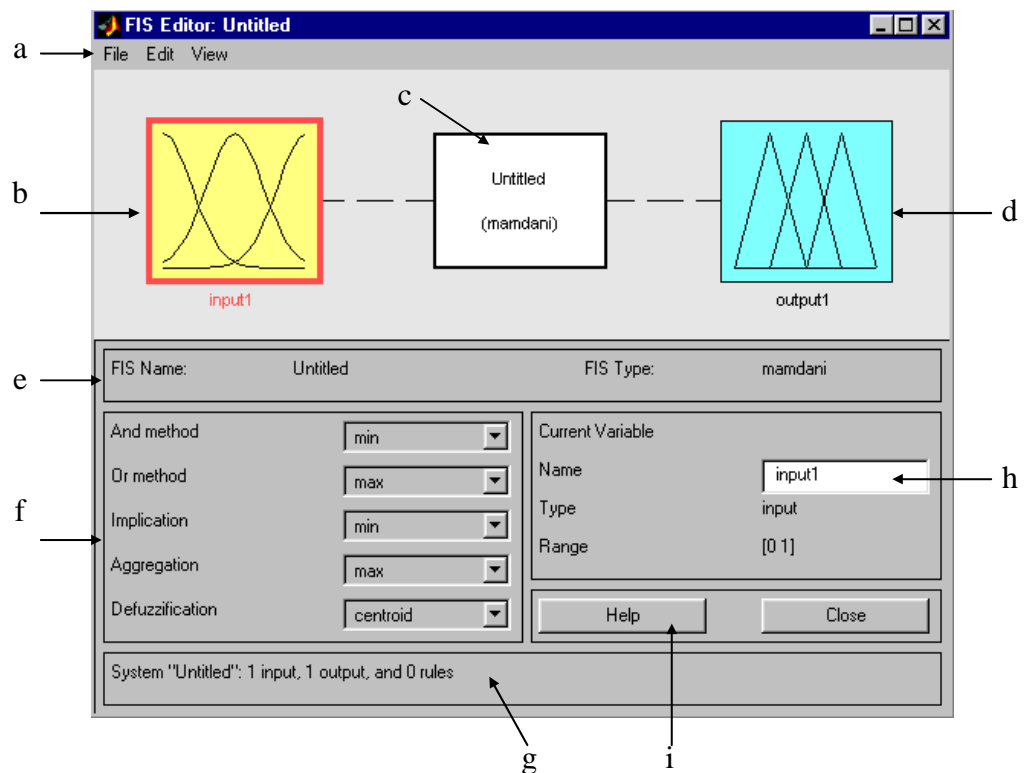
Gambar 5.1. Lima Buah GUI Yang Terdapat Dalam Fuzzy Logic Toolbox

5.1. Fuzzy Inference System Editor (FIS Editor)

Untuk mengaktifkan FL Toolbox atau kita ingin memulai membangun sistem fuzzy dengan memanfaatkan toolbox, maka kita cukup menuliskan fuzzy pada command line pada command windows pada program matlab.

```
>> fuzzy (lalu tekan enter)
```

Kemudian pada layar akan muncul GUI untuk FIS Editor seperti pada gambar 5.2. Dengan menggunakan FIS Editor ini kita dapat memulai melakukan editing terhadap sistem fuzzy yang ingin kita bangun.



Gambar 5.2. Tampilan GUI Untuk FIS Editor

Keterangan gambar 5.2. :

- Menu pilihan yang memungkinkan kita untuk membuka, menyimpan, dan mengedit atau menampilkan sistem fuzzy
- Ikun variabel input. Kita dapat mengedit fungsi keanggotaan tiap-tiap variabel input dengan cara menekan ikon ini 2 kali (*double-click*).
- Ikun diagram sistem. Kita dapat mengedit aturan (menuju ke rule editor) dengan cara menekan ikon ini 2 kali (*double click*) .
- Ikun variabel output. Kita dapat mengedit fungsi keanggotaan tiap-tiap variabel output dengan cara menekan ikon ini 2 kali (*double-click*).
- Nama sistem fuzzy yang akan kita bangun akan ditampilkan disini. Nama

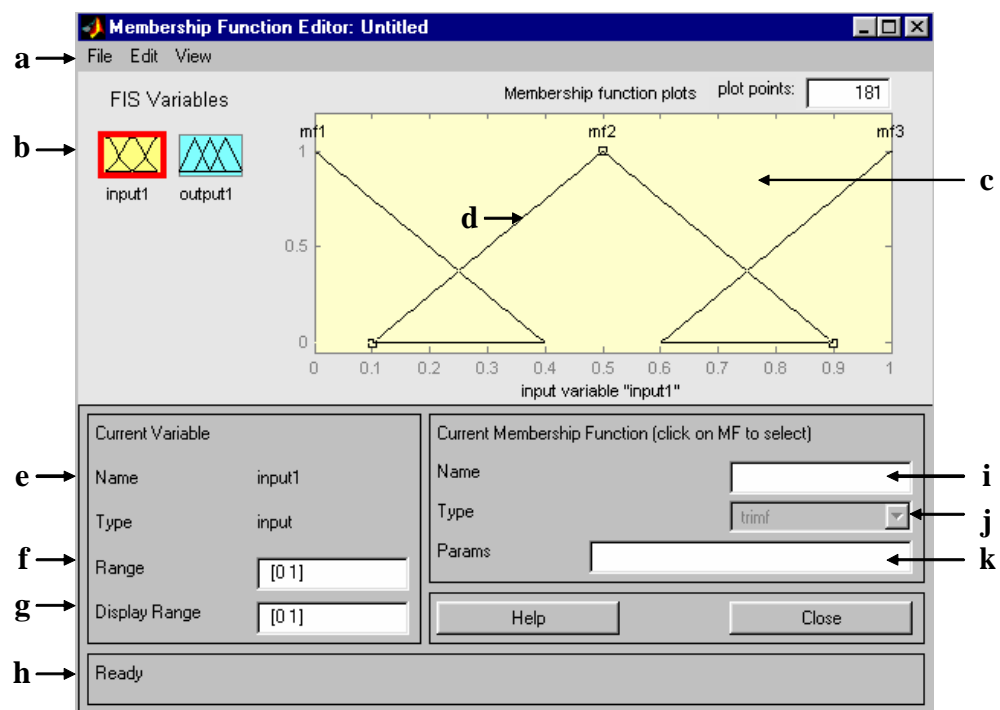
ini dapat kita ubah dengan *save as*

- f. Pop-up menu yang digunakan untuk mengatur fungsi-fungsi penalaran fuzzy, seperti : AND, OR, fungsi implikasi, fungsi komposisi aturan (agregasi) atau metode defuzzyfikasi.
- g. Menunjukkan operasi yang sedang dikerjakan.
- h. Kolom edit, digunakan untuk mengedit nama input atau output
- i. Tombol untuk mencari tahu informasi lebih lanjut tentang kerja FIS Editor.

Dalam program matlab, apabila kita menginginkan membuka sistem fuzzy yang telah dibuat sebelumnya (misalnya : produksi.fis), maka kita bisa langsung mengetikkan dari command line pada command windows :

```
>> fuzzy produksi
```

5.2. Membership Function Editor



Gambar 5.3. Editor Fungsi Keanggotaan

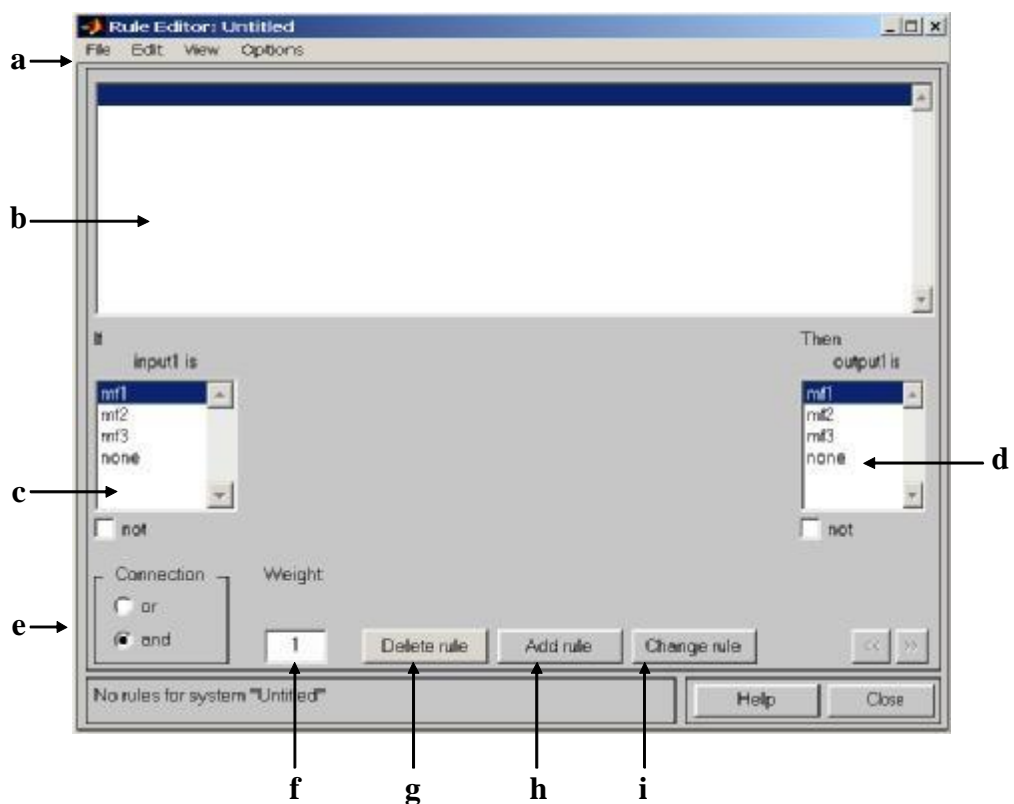
Editor fungsi keanggotaan seperti yang terlihat pada gambar 5.3, berfungsi untuk mengedit fungsi keanggotaan himpunan fuzzy untuk tiap-tiap variabel input dan output. Editor ini dapat dipanggil dengan memilih menu *View – Edit membership functions...* atau menekan tombol Ctrl+2 atau dengan menekan 2 kali (*double click*) ikon variabel input atau variabel output (point b atau point d pada gambar 5.2).

Keterangan Gambar 5.3. :

- a. Menu pilihan untuk menyimpan, membuka, mengedit, dan melihat sistem fuzzy.
- b. Daerah variabel. Untuk mengedit fungsi keanggotaan salah satu variabel, tekan satu kali.
- c. Gambar ini akan menampilkan semua fungsi keanggotaan himpunan fuzzy pada suatu variabel.
- d. Untuk mengedit atribut suatu fungsi keanggotaan himpunan fuzzy (nama, tipe, parameter), cukup ditekan satu kali.
- e. Menunjukkan nama dan tipe variabel yang ditunjuk.
- f. Daerah untuk mengedit range variabel.
- g. Daerah untuk mengedit range variabel yang akan ditampilkan.
- h. Menunjukkan operasi yang sedang berjalan.
- i. Daerah untuk mengedit nama himpunan fuzzy yang ditunjuk.
- j. Pop-up menu untuk memilih tipe atau jenis fungsi keanggotaan himpunan fuzzy yang ditunjuk.
- k. Daerah untuk mengedit parameter-parameter himpunan fuzzy yang ditunjuk.

5.3. Rule Editor

Rule editor merupakan digunakan baik untuk mengedit maupun menampilkan aturan yang akan atau telah dibuat. Editor ini dapat dipanggil dengan cara memilih menu View – Edit rules... atau menekan tombol Ctrl + 3 atau menekan 2 kali (*double click*) ikon diagram sistem (point-c pada Gambar 5.2.). Maka akan muncul rule editor seperti terlihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4. Rule Editor

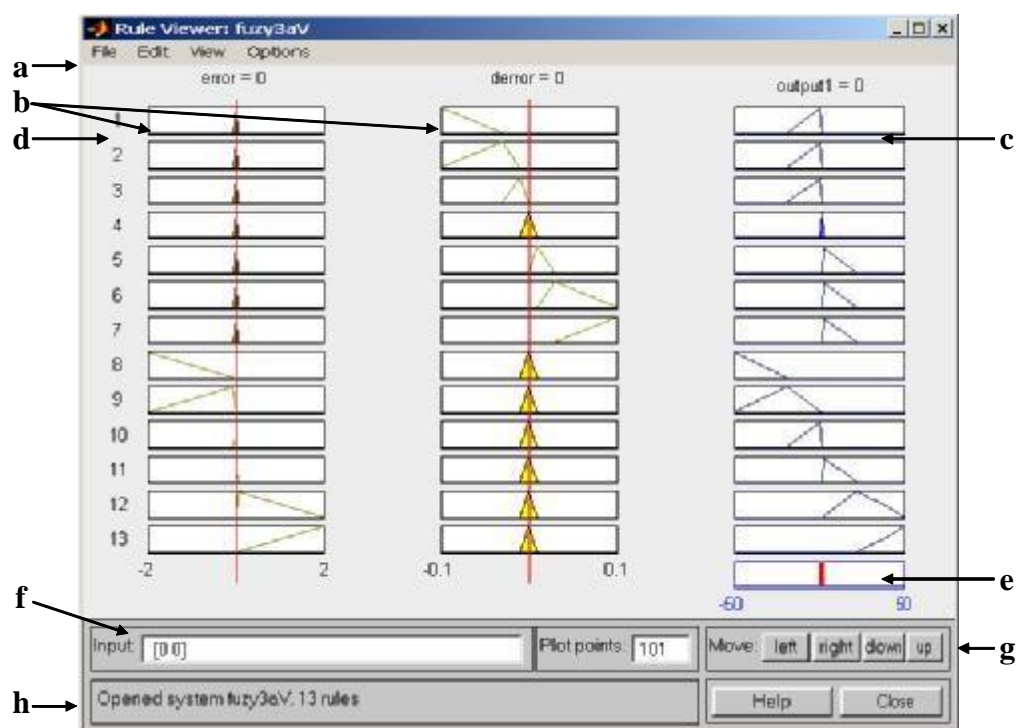
Keterangan Gambar 5.4. :

- Menu pilihan untuk menyimpan, membuka, mengedit dan melihat sistem fuzzy.
- Daerah yang berisi aturan-aturan fuzzy.
- Listbox yang berisi himpunan-himpunan fuzzy untuk input1.

- d. Listbox yang berisi himpunan-himpunan fuzzy untuk output1.
- e. Pilihan operator yang digunakan.
- f. Bobot untuk aturan yang ditunjuk.
- g. Tombol untuk menghapus aturan yang ditunjuk.
- h. Tombol untuk menambahkan aturan.
- i. Tombol untuk mengubah aturan yang ditunjuk.

5.4. Rule Viewer

Viewer ini berguna untuk melihat alur panalaran fuzzy pada sistem, meliputi pemetaan input yang diberikan ke tiap-tiap variabel input, aplikasi operator dan fungsi implikasi, komposisi (agregasi) aturan, sampai pada penentuan output tegas pada metode defuzzifikasi.



Gambar 5.5. Rule Viewer

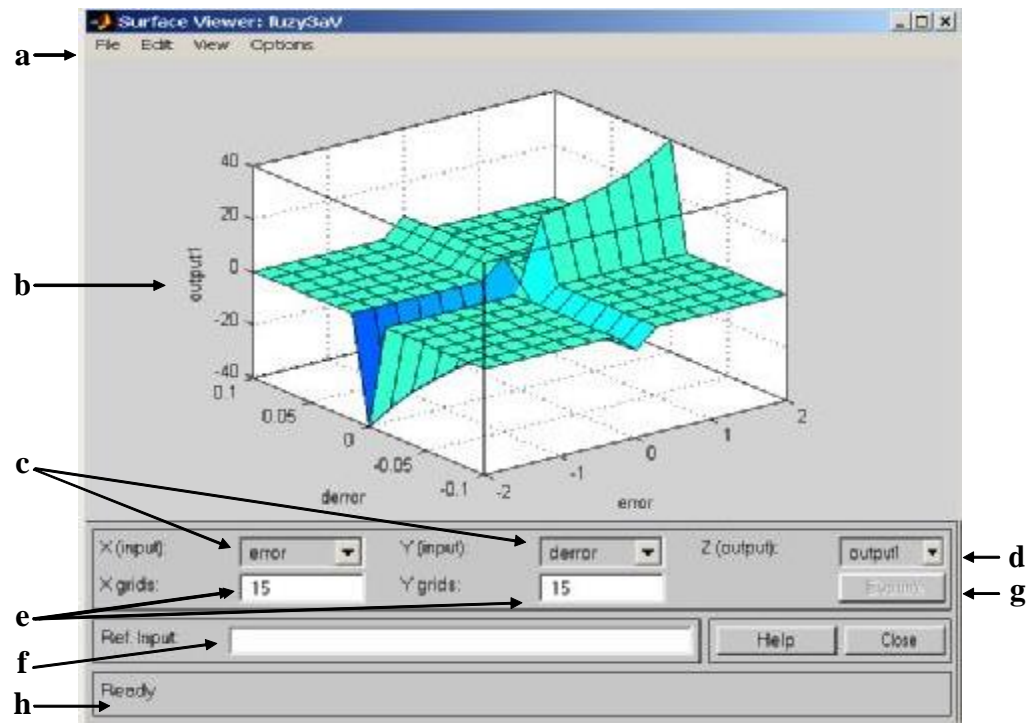
Viewer ini dapat dipanggil dengan cara memilih View – View rules... atau menekan tombol Ctrl + 5, maka akan muncul rule viewer seperti terlihat pada Gambar 5.5.

Keterangan Gambar 5.5. :

- a. Menu pilihan untuk menyimpan, membuka, mengedit dan melihat sistem fuzzy.
- b. Kolom ini (kuning) menunjukkan variabel input yang digunakan dalam aturan.
- c. Kolom ini (biru) menunjukkan variabel output yang digunakan dalam aturan.
- d. Tiap-tiap baris menunjukkan satu aturan. Apabila ingin mengetahui aturan tersebut, tekan nomor aturan satu kali, kemudian akan muncul aturan tersebut pada status bar.
- e. Menunjukkan kombinasi output dari tiap-tiap aturan yang terbentuk dari fungsi komposisi (agregasi) yang digunakan, kemudian dilanjutkan dengan proses defuzzifikasi.
- f. Tempat untuk mengedit input yang diberikan.
- g. Tombol-tombol untuk melihat aturan ke samping kiri, kanan, turun atau naik.
- h. Status bar yang menunjukkan operasi yang sedang dijalankan.

5.5. Surface Viewer

Viewer ini berguna untuk melihat gambar pemetaan antara variabel-variabel input dan variabel-variabel output. Viewer ini dapat dipanggil dengan cara memilih menu View – View surface... atau menekan tombol Ctrl + 6. Maka akan muncul surface viewer seperti terlihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6. Surface Viewer

Keterangan Gambar 5.6. :

- a. Menu pilihan untuk menyimpan, membuka, mengedit dan melihat sistem fuzzy.
- b. Menunjukkan permukaan input vs output
- c. Pop-up menu untuk menampilkan variabel input.
- d. Pop-up menu untuk menampilkan variabel output.
- e. Kolom untuk mengedit grid input.
- f. Kolom untuk mengedit input yang tidak dispesifikasikan.
- g. Tekan tombol ini apabila telah siap menghitung dan menggambar.
- h. Status bar yang menunjukkan operasi yang sedang dijalankan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yan & Ryan Powers, *Using Fuzzy Logic*, Prentice Hall, New York. 1994.
- [2] Peter Harriot, *Process Control*, Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1974.
- [3] Frans Gunterus, *Falsafah Dasar : Sistem Pengendalian Proses, Elex Media Komputindo*, Jakarta, 1997.