

**APLIKASI SISTEM PAKAR UNTUK DIAGNOSA PENYAKIT
HIPERTIROID DENGAN METODE INFERENSI
FUZZY MAMDANI**

**Tesis
untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-2 Program Studi
Magister Sistem Informasi**



**Ahmad Kamsyakawuni
2401041040006**

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2012**

HALAMAN PENGESAHAN

TESIS

**APLIKASI SISTEM PAKAR UNTUK DIAGNOSA PENYAKIT
HIPERTIROID DENGAN METODE INFERENSI
FUZZY MAMDANI**

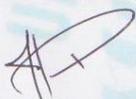
Oleh:
Ahmad Kamsyakawuni
2401041040006

Telah diujikan dan dinyatakan lulus ujian tesis pada tanggal 29 Agustus 2012 oleh tim penguji Program Pascasarjana Magister Sistem Informasi Universitas Diponegoro

Semarang, 31 Agustus 2012

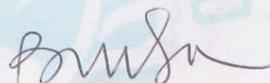
Mengetahui,

Pembimbing I



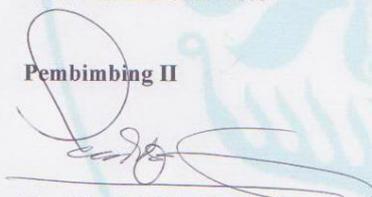
Dr. Rahmat Gernowo, M.Si
NIP. 196511231994031003

Penguji I



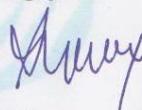
Dr. Bayu Surarso, M.Sc. Ph.D
NIP. 196311051988031001

Pembimbing II



Dr. Eko Adi Sawoko, M.Kom
NIP. 196511071992031003

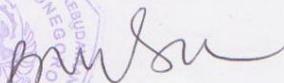
Penguji II



Dr. Suryono, S.Si, M.Si
NIP. 197306301998021001

Mengetahui:

**Ketua Program Studi
Magister Sistem Informasi**



Dr. Bayu Surarso, M.Sc. Ph.D
NIP. 196311051988031001

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS	iv
PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Keaslian Penelitian	3
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Landasan Teori	6
2.2.1 Logika dan Himpunan <i>Fuzzy</i>	6
2.2.2 Fungsi Keanggotaan	8
2.2.3 Operator <i>Fuzzy</i>	12
2.2.4 Gambaran Umum Penyakit Hipertiroid	13
2.2.5 Pemeriksaan Kelenjar Tiroid	13
2.2.6 Skor Gejala dan Tanda-tanda Penyakit Hipertiroid	16
2.3 Sistem Pakar	17
2.4 Inferensi <i>Fuzzy</i>	18
2.4.1 Metode Inferensi <i>Fuzzy</i> Mamdani	19
2.5 Validasi Sistem	23
BAB 3 METODE PENELITIAN	25
3.1 Bahan Penelitian	25
3.2 Alat Penelitian	25

3.3 Metode Penelitian	25
3.3.1 Identifikasi Variabel Input dan Output	28
3.3.2 Pemilihan Nilai Parameter	29
3.3.3 Desain Sistem	30
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Hasil Penelitian	44
4.1.1 <i>Menu</i> Pemakai	44
4.1.2 <i>Menu</i> Login dan <i>Menu</i> Logout	49
4.1.3 <i>Menu</i> Administrator	51
4.2 Pembahasan	56
4.2.1 Analisa Proses	56
4.2.2 Validasi	61
BAB 5 PENUTUP	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	63

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Fitur Fungsi Keanggotaan	8
Gambar 2.2 Representasi Linier Naik	9
Gambar 2.3 Representasi Linier Turun	10
Gambar 2.4 Representasi Kurva Segitiga	10
Gambar 2.5 Representasi Kurva Trapesium	11
Gambar 2.6 Representasi Kurva Bentuk Bahu Kiri	11
Gambar 2.7 Representasi Kurva Bentuk Bahu Kanan.....	12
Gambar 2.8 Struktur Dasar Inferensi Mamdani	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Untuk Inferensi Mamdani	26
Gambar 3.2 Diagram Alir Langkah-langkah Penelitian	29
Gambar 3.3 Desain Sistem Pakar	31
Gambar 3.4 Kurva Himpunan <i>Fuzzy</i> pada Variabel FT4	32
Gambar 3.5 Kurva Himpunan <i>Fuzzy</i> pada Variabel TSHs	33
Gambar 3.6 Kurva Himpunan <i>Fuzzy</i> pada Variabel Skor Gejala	34
Gambar 3.7 Kurva Himpunan <i>Fuzzy</i> pada Variabel Diagnosa	35
Gambar 3.8 Desain <i>Menu</i> Untuk Konsultasi	37
Gambar 3.9 Desain <i>Menu</i> Untuk Pengembang	38
Gambar 3.10 Desain Halaman Untuk Konsultasi	39
Gambar 3.11 Desain Halaman Mencetak Hasil Konsultasi	40
Gambar 3.12 Desain Halaman Untuk Data Masukan	41
Gambar 3.13 Desain Halaman Untuk Data Aturan	41
Gambar 3.14 Desain Halaman Analisa Proses	42
Gambar 3.15 Desain Halaman Validasi	43
Gambar 4.1 Tampilan <i>Menu</i> Pemakai	44
Gambar 4.2 Tampilan Halaman Konsultasi	45
Gambar 4.3 Tampilan Hasil Diagnosa	46
Gambar 4.4 Tampilan Halaman Simpan Hasil Diagnosa	47
Gambar 4.5 Tampilan Halaman Cetak Hasil Konsultasi	48
Gambar 4.6 Tampilan Halaman Buka Hasil Diagnosa	48
Gambar 4.7 Tampilan Halaman Print <i>Preview</i>	49
Gambar 4.8 Tampilan Halaman Print	49
Gambar 4.9 Tampilan Halaman Login	50
Gambar 4.10 Tampilan <i>Menu</i> Administrator	51
Gambar 4.11 Tampilan Halaman Data Masukan	52
Gambar 4.12 Tampilan Halaman Simpan Data Masukan	53
Gambar 4.13 Tampilan Halaman Buka Data Masukan	53
Gambar 4.14 Tampilan Halaman Data Aturan	54
Gambar 4.15 Tampilan Halaman Analisa Proses	54
Gambar 4.16 Tampilan Halaman Validasi	55
Gambar 4.17 Hasil Komposisi Aturan	60

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Indeks Wayne	16
Tabel 3.1 Nilai Parameter dan Skala Interval Variabel FT4 serta Variabel TSHs	30
Tabel 3.2 Nilai Parameter dan Skala Interval Variabel Skor Gejala	30
Tabel 3.3 Nilai Parameter dan Skala Interval Variabel Diagnosa	30
Tabel 4.1 Data Gejala dan Tanda-tanda Hipertiroid	46
Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Perhitungan Manual dan Sistem	61
Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Diagnosa Dokter dengan Sistem	62

**APLIKASI SISTEM PAKAR UNTUK DIAGNOSA PENYAKIT HIPERTIROID
DENGAN METODE INFERENSI
FUZZY MAMDANI**

ABSTRAK

Diagnosa medis merupakan permasalahan rumit yang dipengaruhi oleh berbagai faktor dan penyelesaiannya melibatkan semua kemampuan pakar, termasuk intuisi yang dimiliki oleh pakar. Diagnosa penyakit tiroid sulit dilakukan, hal ini dikarenakan gejala penyakit tiroid bisa bermacam-macam, sangat bervariasi, tergantung pada naik dan turunnya hormon tiroid. Penelitian ini mengaplikasikan sistem pakar untuk diagnosa penyakit hipertiroid menggunakan metode inferensi *fuzzy* Mamdani. Sistem pakar diperlukan untuk mendapatkan pengetahuan kepakaran dari ahlinya dalam menyelesaikan permasalahan diagnosa penyakit hipertiroid sedangkan inferensi *fuzzy* Mamdani digunakan untuk pengolahan pengetahuan agar diperoleh konsekuensi atau kesimpulan yang merupakan hasil diagnosa. Inferensi *fuzzy* Mamdani pada penelitian ini dimulai dengan proses pembentukan himpunan *fuzzy* dilanjutkan dengan proses aplikasi fungsi implikasi, kemudian proses komposisi aturan dan diakhiri dengan proses defuzzifikasi. Sistem pakar untuk diagnosa hipertiroid yang sudah diaplikasikan dengan menggunakan data input skor gejala, hasil tes darah yaitu kadar FT4 dan TSHs serta data output berupa hasil diagnosa, telah berhasil melakukan diagnosa terhadap data input yang diujikan, dengan akurasi sebesar 95,45%.

Kata Kunci: Sistem pakar, inferensi *fuzzy* Mamdani, hipertiroid

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tiroid merupakan kelenjar kecil, berbentuk seperti kupu-kupu, yang terletak di leher bagian depan dibawah jakun, didepan trakea. Fungsi utamanya untuk mengontrol metabolisme tubuh. Tiroid menghasilkan hormon T4 (*thyroxine*) dan hormon T3 (*thyronine*).

Kelenjar tiroid merupakan salah satu organ paling penting dalam tubuh, karena hormon tiroid berfungsi mengendalikan metabolisme tubuh. Oleh karena itu, hormon tiroid berdampak pada organ penting lainnya didalam tubuh. Penyakit tiroid terutama penyakit hipertiroid beresiko menimbulkan diabetes dan penyakit jantung.

Diagnosa penyakit tiroid sulit dilakukan, karena gejala penyakit tiroid bisa bermacam-macam, sangat bervariasi, tergantung pada naik dan turunnya hormon tiroid. Hormon tiroid meningkatkan penggunaan oksigen oleh sel-sel tubuh. Ketika tiroid memproduksi hormon berlebih, sel tubuh akan bekerja lebih keras dan metabolisme tubuh menjadi lebih cepat, kondisi ini disebut hipertiroid. Ketika tiroid tidak memproduksi hormon yang cukup, sel tubuh akan bekerja lebih lambat, kondisi ini disebut hipotiroid (Tandra, 2011). Selain pemeriksaan dan penyelidikan tiroid, interpretasi data klinis yang tepat merupakan pelengkap penting dalam diagnosa penyakit tiroid (Keleş dan Keleş, 2008).

Logika *fuzzy* telah menjadi area riset yang mengagumkan karena kemampuannya dalam menjembatani bahasa mesin yang serba presisi dengan bahasa manusia yang cenderung tidak presisi serta menekankan pada makna atau arti. Bisa dibayangkan bahwa sistem *fuzzy* adalah sebuah mesin penerjemah bahasa manusia sehingga bisa dimengerti oleh bahasa mesin dan juga sebaliknya. (Naba, 2009).

Logika *fuzzy* telah diaplikasikan dalam bidang kedokteran, yang didalamnya terdapat ketidakpastian. Bidang kedokteran merupakan contoh permasalahan untuk aplikasi logika *fuzzy*, karena terdapat ketidakpastian, ketidak tepatan pengukuran, keanekaragaman dan subjektivitas yang secara jelas hadir dalam melakukan diagnosa medis.

Diagnosa medis merupakan permasalahan rumit yang dipengaruhi oleh berbagai faktor dan penyelesaiannya melibatkan semua kemampuan pakar, termasuk intuisi yang dimiliki oleh pakar. Logika *fuzzy* telah digunakan dalam diagnosa penyumbatan paru-paru, kelainan pembentukan korteks, hepatitis, rematik dan penyakit pankreas (Khanale dan Ambilwade, 2011).

Sistem pakar dibuat hanya pada domain pengetahuan tertentu untuk suatu kepakaran tertentu yang mendekati kemampuan manusia di salah satu bidang saja. Sistem pakar mencoba mencari penyelesaian yang memuaskan yaitu sebuah penyelesaian yang cukup bagus agar pekerjaan dapat berjalan walaupun itu bukan penyelesaian yang optimal.

Pada dasarnya sistem pakar diterapkan untuk mendukung aktivitas pemecahan masalah. Beberapa aktivitas pemecahan yang dimaksud antara lain: pembuatan keputusan (*decision making*), pemaduan pengetahuan (*knowledge fusing*), pembuatan desain (*designing*), perencanaan (*planning*), prakiraan (*forecasting*), pengaturan (*regulating*), pengendalian (*controlling*), diagnosis (*diagnosing*), perumusan (*prescribing*), pemberian nasihat (*advising*), dan pelatihan (*tutoring*). Selain itu sistem pakar juga dapat berfungsi sebagai asisten yang pandai dari seorang pakar (Hartati dan Iswanti, 2008).

Inferensi *fuzzy* Mamdani merupakan kerangka kerja linguistik, dengan inferensi *fuzzy* ini proses berfikir manusia dapat dimodelkan. Inferensi *fuzzy* Mamdani telah digunakan secara luas untuk menangkap pengetahuan para pakar, sehingga memungkinkan penggunaan inferensi *fuzzy* Mamdani untuk menggambarkan keahlian pakar secara lebih intuitif, yang lebih mirip pakar dalam mengambil keputusan (Negnevitsky, 2005).

Penelitian ini akan membuat aplikasi sistem pakar untuk diagnosa penyakit hipertiroid. Sistem pakar diperlukan untuk mendapatkan pengetahuan kepakaran dari ahlinya dalam menyelesaikan permasalahan diagnosa penyakit sedangkan inferensi *fuzzy* Mamdani digunakan untuk pengolahan pengetahuan agar diperoleh konsekuensi atau kesimpulan.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang dan membangun sistem pakar untuk mendiagnosa penyakit hipertiroid dengan menggunakan metode inferensi *fuzzy* Mamdani.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian yang akan dilakukan terarah dan mudah dalam pembahasannya maka diperlukan batasan masalah. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Permasalahan yang dibahas hanya untuk melakukan diagnosa penyakit hipertiroid;
2. Pembahasan tidak mencakup pemberian dosis obat, tindakan pencegahan dan tindakan klinis;
3. Output dari sistem pakar ini akan menghasilkan tiga jenis diagnosa penyakit hipertiroid yaitu normal, subklinis hipertiroid dan hipertiroid.

1.4 Keaslian Penelitian

Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan diagnosa penyakit telah dilakukan oleh Ali Keleş dan Aytürk Keleş pada tahun 2008. Penelitian tersebut membahas diagnosa penyakit tiroid dengan menggunakan metode *neuro-fuzzy classification* (Keleş dan Keleş, 2008).

Penelitian lain yang telah dilakukan, ditulis oleh Feyzullah Temurtas. Dalam tulisan ini, berbagai metode jaringan syaraf telah dibandingkan untuk membantu diagnosis penyakit tiroid yaitu jaringan saraf *multilayer*, jaringan saraf probablistik, dan pembelajaran jaringan saraf kuantisasi vektor (Temurtas, 2008).

Penelitian terbaru yang telah dilakukan, ditulis oleh Khanale dan Ambilwade pada tahun 2011. Penelitian tersebut melakukan diagnosa hipotiroid menggunakan sistem inferensi *fuzzy* Mamdani (Khanale dan Ambilwade, 2011).

Penelitian yang dilakukan dalam tesis ini adalah membuat aplikasi sistem pakar untuk diagnosa hipertiroid dengan menggunakan metode inferensi *fuzzy* Mamdani, sehingga dalam membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman pakar dibidang medis yang berhubungan dengan diagnosa penyakit tiroid dapat dilakukan secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan terlebih dahulu.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah membuat aplikasi sistem pakar untuk diagnosa penyakit hipertiroid yang dialami oleh seorang pasien dengan gejala-gejala klinis tertentu menggunakan metode inferensi *fuzzy* Mamdani.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah membantu masyarakat untuk dapat melakukan diagnosa penyakit hipertiroid secara mandiri. Selain itu, sistem pakar dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai alat pembelajaran dalam melakukan diagnosa penyakit hipertiroid.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Terdapat beberapa penelitian berkaitan dengan diagnosa penyakit yang pernah dilakukan dan sudah dipublikasikan.

Keleş Ali dan Keleş Aytürk melakukan diagnosa penyakit tiroid menggunakan metode *neuro fuzzy classification*, yang didasarkan pada arsitektur *multilayer perception* sedangkan bobot koneksi jaringannya dimodelkan dengan menggunakan himpunan *fuzzy* dan fungsi aktivasi. Node-node dalam jaringan menggunakan *t-norms* atau *t-conorms* sebagai fungsi aktivasi. Lapisan tersembunyi merupakan aturan *fuzzy*. Penelitian tersebut menggunakan lima variabel input, dua puluh satu aturan dan tiga variabel output, yang diperoleh dari respiratori *machine learning University of California, Irvine* (UCI), berjumlah 215 data (Keleş dan Keleş, 2008).

Feyzullah Temurtas melakukan studi komparatif dalam mendiagnosa penyakit tiroid. Dalam tulisan tersebut, beberapa metode jaringan syaraf telah digunakan, yaitu jaringan syaraf *multilayer*, jaringan syaraf probabilistik dan jaringan syaraf pembelajaran kuantisasi vektor. Pada metode jaringan syaraf *multilayer* digunakan 50 *neuron* untuk setiap *hidden layer*, sedangkan *output layer* menggunakan fungsi aktivasi non-liner sigmoid. Pada jaringan syaraf probabilistik digunakan *hidden layer* tunggal (*radial basis layer*) yang terhubung secara penuh dengan tiga *output layer* dan menggunakan metode pelatihan *supervised training*. Pada jaringan syaraf pembelajaran kuantisasi vektor digunakan *hidden layer* tunggal dan tiga *output layer*. Data dalam penelitian tersebut diambil dari respiratori *machine learning University of California, Irvine* (UCI) (Temurtas, 2009).

Silvia Alayón, Richard Robertson, Simon K. Warfield, dan Juan Ruiz Alzola melakukan diagnosa kelainan pembentukan korteks menggunakan inferensi *fuzzy*, diagnosa didasarkan pada interpretasi subyektif dari karakteristik *neuroimaging* dari otak yang berwarna abu-abu putih. Dalam tulisan tersebut sebuah sistem berbasis aturan *fuzzy* diusulkan sebagai alternatif solusi. Sistem dibuat dengan mengumpulkan pengetahuan ahli yang berkaitan dengan kelainan pembentukan korteks sampai pada suatu diagnosa yang benar, selain itu juga dijelaskan beberapa faktor yang menentukan pengambilan keputusan dalam

diagnosa. Sistem inferensi *fuzzy* yang digunakan dalam penelitian kelainan pembentukan korteks adalah metode *fuzzy* Mamdani, dengan empat variabel input yaitu lokalisasi, visual karakteristik, gejala dan faktor keturunan dari keluarga. Dalam variabel lokalisasi terdapat tiga fungsi keanggotaan, variabel visual karakteristik terdiri dari empat belas fungsi keanggotaan, variabel gejala terdiri dari dua belas fungsi keanggotaan dan variabel faktor keturunan terdiri dari tujuh fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan yang digunakan dalam variabel input adalah fungsi Gaussian. Sedangkan untuk variabel outputnya terdiri dari satu variabel yaitu tingkat pasien penderita penyakit kelainan pembentukan korteks terdiri dari sembilan fungsi keanggotaan. Sistem tersebut menggunakan empat puluh tujuh aturan *fuzzy* dalam melakukan inferensi *fuzzy* (Alayón et al, 2007).

Khanale dan Ambilwade melakukan diagnosa hipotiroid menggunakan sistem inferensi *fuzzy* Mamdani. Penelitian tersebut menggunakan tiga variabel input dan satu variabel output. Diagnosis didasarkan pada variabel input, yaitu skore gejala, T4 (*thyroxine*) dan TSH (*thyroid-stimulating hormone*), serta menggunakan variabel output yaitu diagnosa. Nilai T4 dan Nilai TSH diperoleh dari hasil pemeriksaan darah dari pasien. Penelitian tersebut menggunakan 45 data (Khanale dan Ambilwade, 2011).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Logika dan Himpunan *Fuzzy*

Logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Zadeh tahun 1965. Dasar logika *fuzzy* adalah teori himpunan *fuzzy*. Pada teori himpunan *fuzzy*, peranan derajat keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangatlah penting. Pada himpunan tegas (*crisp*), nilai keanggotaan hanya terdapat dua kemungkinan, yaitu 0 dan 1. Pada himpunan *fuzzy*, nilai keanggotaan terletak pada rentang 0 sampai 1. Apabila x memiliki nilai keanggotaan *fuzzy* $\mu_A(x) = 0$, berarti x tidak menjadi anggota himpunan A, apabila x memiliki nilai keanggotaan *fuzzy* $\mu_A(x) = 1$, berarti x menjadi anggota penuh pada himpunan A.

Dalam banyak hal, logika *fuzzy* digunakan sebagai suatu cara untuk memetakan permasalahan dari input ke output yang diharapkan. Logika *fuzzy* dapat dianggap sebagai kotak hitam (*black box*) yang menghubungkan antara ruang input menuju ke ruang output (Gelley dan Jang, 2000).

Kotak hitam (*black box*) tersebut berisi metode yang digunakan untuk mengolah data input menjadi output dalam bentuk informasi. Salah satu permasalahan yang menggunakan pemetaan dari suatu input ke output adalah masalah produksi barang. Pada permasalahan produksi barang diberikan input data semua total persediaan barang yang mungkin dan

outputnya semua jumlah produksi barang yang mungkin. Kotak hitam (*black box*) pada permasalahan tersebut berisi metode yang dapat digunakan untuk mengolah data input menjadi output dalam bentuk informasi jumlah barang yang harus diproduksi (Kusumadewi dan Purnomo, 2010).

Himpunan *fuzzy* memiliki dua atribut, yaitu linguistik dan numeris. Atribut linguistik adalah atribut yang digunakan untuk penamaan suatu group yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti muda, parobaya, tua. Sedangkan atribut numeris adalah suatu nilai yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel (Kusumadewi dan Purnomo, 2010).

Menurut Kusumadewi dan Purnomo, terdapat beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem *fuzzy* yaitu:

a. Variabel *fuzzy*

Variabel *fuzzy* merupakan variabel yang dibahas dalam sistem *fuzzy*.

b. Himpunan *fuzzy*

Himpunan *fuzzy* merupakan suatu group yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*.

c. Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*. Semesta pembicaraan merupakan himpunan bilangan real yang senantiasa bertambah secara monoton. Nilai semesta pembicaraan dapat berupa bilangan positif maupun negatif.

d. Domain

Domain himpunan *fuzzy* adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy*. Seperti halnya semesta pembicaraan, domain merupakan himpunan bilangan real yang senantiasa bertambah secara monoton. Nilai domain dapat berupa bilangan positif maupun negatif.

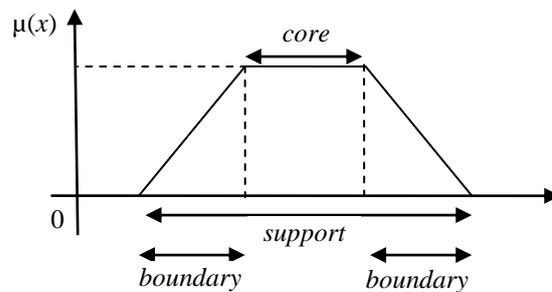
2.2.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya atau derajat keanggotaan, yang memiliki interval antara 0 sampai 1.

a. Bagian-bagian Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan terdiri oleh tiga bagian atau properti, yaitu: inti (*core*), dukungan (*support*), batas (*boundary*) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Bagian inti (*core*) adalah

fungsi keanggotaan yang memiliki derajat keanggotaan penuh atau $\mu_A(x) = 1$, bagian dukungan (*support*) adalah fungsi keanggotaan yang memiliki derajat keanggotaan lebih besar dari 0 atau $\mu_A(x) > 0$, sedangkan bagian batas (*boundary*) adalah fungsi keanggotaan yang memiliki derajat keanggotaan antara 0 dan 1 atau $0 < \mu_A(x) < 1$ (Sivanandam et al, 2007).

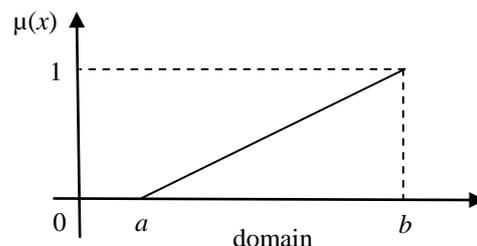


Gambar 2.1 Fitur Fungsi Keanggotaan

b. Bentuk Fungsi Keanggotaan

Terdapat beberapa bentuk fungsi yang bisa digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan dengan melalui pendekatan fungsi. Fungsi-fungsi tersebut diantaranya adalah representasi linier, representasi kurva segitiga, representasi kurva trapesium dan representasi kurva bentuk bahu.

Representasi linier merupakan pemetaan input ke derajat keanggotaannya yang digambarkan menggunakan suatu garis lurus. Terdapat dua keadaan himpunan *fuzzy* yang linier. Pertama, kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi (seperti terlihat pada Gambar 2.2) dan dinyatakan menggunakan Persamaan (2.1).



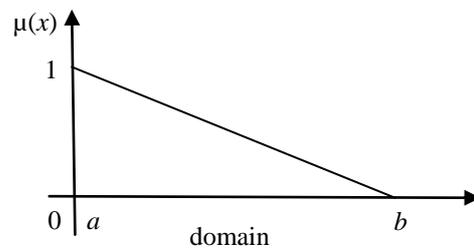
Gambar 2.2 Representasi Linier Naik

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \text{ atau } x > b \\ (x - a)/(b - a), & a \leq x \leq b \end{cases} \quad (2.1)$$

Persamaan (2.1) diperoleh dengan cara memasukkan dua koordinat titik yang ada pada Gambar 2.2, yaitu titik $(a, 0)$ dan titik $(b, 1)$ ke persamaan garis untuk dua titik, yang dinyatakan menggunakan Persamaan (2.2).

$$(y - y_1)/(y_2 - y_1) = (x - x_1)/(x_2 - x_1) \quad (2.2)$$

Kedua, merupakan kebalikan yang pertama. Garis lurus dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah (seperti terlihat pada Gambar 2.3) dan dinyatakan menggunakan Persamaan (2.3).

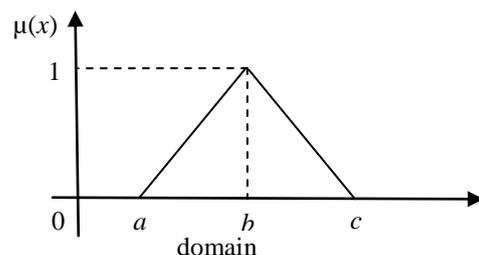


Gambar 2.3 Representasi Linier Turun

$$\mu(x) = \begin{cases} (b - x)/(b - a), & a \leq x \leq b \\ 0, & x < a \text{ atau } x > b \end{cases} \quad (2.3)$$

Persamaan (2.3) diperoleh dengan cara memasukkan dua koordinat titik yang ada pada Gambar 2.3, yaitu titik $(a, 1)$ dan titik $(b, 0)$ ke persamaan garis untuk dua titik, yang dinyatakan menggunakan Persamaan (2.2).

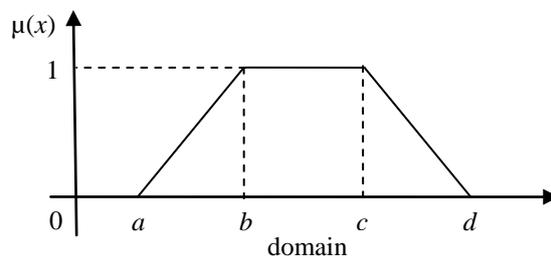
Representasi kurva Segitiga merupakan gabungan antara dua garis linier yaitu garis linier naik dan garis linier turun, seperti terlihat pada Gambar 2.4 dan dinyatakan menggunakan Persamaan (2.4).



Gambar 2.4 Representasi Kurva Segitiga

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \text{ atau } x > c \\ (x - a)/(b - a), & a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b), & b < x \leq c \end{cases} \quad (2.4)$$

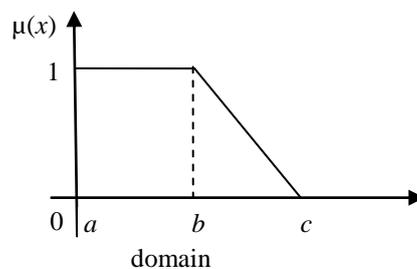
Representasi kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 (seperti Gambar 2.5) dan dinyatakan menggunakan Persamaan (2.5).



Gambar 2.5 Representasi Kurva Trapesium

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \text{ atau } x > d \\ (x - a)/(b - a), & a \leq x \leq b \\ 1, & b < x \leq c \\ (d - x)/(d - c), & c < x \leq d \end{cases} \quad (2.5)$$

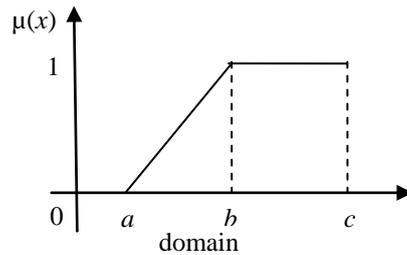
Representasi kurva bentuk bahu terdiri dari kurva bentuk bahu kiri dan kurva bentuk bahu kanan. Representasi kurva bentuk bahu kiri merupakan gabungan dari garis yang memiliki nilai keanggotaan satu dengan garis linier turun (seperti terlihat pada Gambar 2.6) dan dinyatakan dengan menggunakan Persamaan (2.6)



Gambar 2.6 Representasi Kurva Bentuk Bahu Kiri

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b), & b < x \leq c \\ 0, & x < a \text{ atau } x > c \end{cases} \quad (2.6)$$

Representasi kurva bentuk bahu kanan merupakan gabungan dari garis linier naik dengan garis yang memiliki nilai keanggotaan satu (seperti terlihat pada Gambar 2.7) dan dinyatakan dengan menggunakan Persamaan (2.7).



Gambar 2.7 Representasi Kurva Bentuk Bahu Kanan

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

2.2.3 Operator Fuzzy

Terdapat beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasi dan memodifikasi himpunan *fuzzy*. Nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi dua himpunan disebut dengan α -predikat atau *fire streng*. Terdapat tiga operator *fuzzy* yang diciptakan oleh Zadeh, yaitu: operator AND, operator OR dan operator NOT.

Operator AND berhubungan dengan operasi interseksi pada himpunan. α -predikat atau *fire streng* sebagai hasil operasi dengan operator AND diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antarelemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan. Secara umum dapat ditulis menggunakan Persamaan (2.8).

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (2.8)$$

Operator OR berhubungan dengan operasi union pada himpunan. α -predikat atau *fire streng* sebagai hasil operasi dengan operator OR diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan. Secara umum dapat ditulis menggunakan Persamaan (2.9).

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (2.9)$$

Operator NOT berhubungan dengan operasi komplemen pada himpunan. α -predikat atau *fire streng* sebagai hasil operasi dengan operator NOT diperoleh dengan cara mengurangi nilai keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan dari 1. Secara umum dapat ditulis menggunakan Persamaan (2.10).

$$\mu_{A'} = 1 - \mu_A(x) \quad (2.10)$$

2.2.4 Gambaran Umum Penyakit Hipertiroid

Hipertiroid ialah hiperfungsi kelenjar tiroid dan sekresi berlebihan dari hormone tiroid dalam sirkulasi darah. Adapun subklinis hipertiroid, secara definisi diartikan kasus dengan kadar hormon normal tetapi *Tyroid Stimulating Hormon* (TSH) rendah.

Jika hormon berlebihan, berat badan akan merosot tajam, pasien merasa panik, tegang, sulit tidur, jantung berdebar, tangan gemetaran, dan mata terbelalak keluar (*eksophthalmus*). Gambaran khas ini merupakan suatu hipertiroid, yang disebabkan oleh pembakaran atau metabolisme tubuh yang melebihi semestinya. Tanda-tanda hipertiroid ini sangat khas, oleh karena itu pasien hipertiroid lebih cepat datang ke dokter untuk memperoleh pengobatan, terutama apabila pasien mengalami pembesaran pada leher (Tandra, 2011).

2.2.5 Pemeriksaan Kelenjar Tiroid

Pemeriksaan kelenjar tiroid biasanya dilakukan secara berkala untuk memantau hasil pengobatan dan untuk mengetahui kadar hormon tiroid, naik atau turun. Pemeriksaan yang banyak dilakukan adalah tes darah. Melalui pemeriksaan darah sudah bisa ditemukan kelainan, meskipun tiroid tampak normal tanpa keluhan atau gejala. Bila dilakukan penanganan yang cepat maka komplikasi pada organ tubuh yang lain tidak akan terjadi.

a. Analisis Hormon Tiroid

Analisis hormon-hormon tiroid mulai berkembang setelah diperkenalkan teknik *radioimmunoassay* (RIA) pada awal tahun 1970-an, diikuti dengan *immunoradiometric assay*

(IRMA), *enzyme-linked immunoassay* (ELISA) atau *enzyme-linked fluorescent immunoassay* (ELFA) dan *enzyme immunoassay* (EIA) serta yang terbaru *electrochemiluminescent assay* (ECLIA). Cara ECLIA menjadi metoda yang paling peka dibandingkan yang terdahulu. Cara ini dikembangkan sejak akhir tahun 1980-an dan pada Kursus *Laboratory Endocrinology* di Singapura di tahun 1989 sudah dinyatakan sebagai metoda yang menjanjikan untuk analisis hormon. Kepekaan bergeser dari kadar mikrogram/dL menjadi nanogram/dL bahkan pikogram/dL. Cara-cara ini juga sudah diterapkan pada otomasi (*automated analyzer*). Dengan demikian selain makin peka juga ketelitian dan ketepatan analisis hormon makin baik (Suryaatmadja, 2010).

b. Pemeriksaan Kadar Hormon T3 dan T4

Pemeriksaan kadar hormon T3 (*thyronine*) dan T4 (*thyroxine*) merupakan pemeriksaan kadar hormon T3 dan T4 total dalam darah. T4 sebenarnya adalah prohormon yang berarti hormon tiroid yang paling lemah, yang harus diubah menjadi hormon T3 yang kuat, yang aktif bekerja untuk mengatur metabolisme tubuh. Namun hormon yang paling banyak dikeluarkan kelenjar tiroid adalah T4.

Homon T3 dan T4 berikatan dengan protein. Proten harus dilepaskan terlebih dahulu supaya hormon bisa bekerja dengan efektif. T3 dan T4 yang sudah melepaskan ikatan protein akan berubah menjadi *Free T3* (FT3) dan *Free T4* (FT4). Hormon yang paling banyak dikeluarkan kelenjar tiroid adalah T4, sedangkan T4 yang melepaskan ikatan protein akan berubah menjadi *Free T4*, sehingga untuk mengetahui berapa banyak hormon yang bekerja dalam sel tubuh diperlukan pemeriksaan FT4.

c. Pemeriksaan *Resin Uptake*

Pemeriksaan *Resin T3 Uptake* dan *Resin T4 Uptake* adalah mengukur berapa banyak protein yang masih bisa berikatan dengan hormon T3 dan T4. Jika protein banyak, hormon yang diikat oleh protein tadi pun menjadi banyak. Akibatnya, kelejar tiroid akan mengeluarkan banyak hormon untuk mengimbangnya. Jika protein berkurang, hanya sedikit hormon yang bisa diikat, maka kelenjar tiroid akan menurunkan produksi hormonnya. Kadar normal *resin T3 uptake* adalah 25%-35%, Prosentase kadar *resin T3 uptake* yang rendah menunjukkan hipertiroid, sedangkan prosentase kadar *resin T3 uptake* yang tinggi menunjukkan hipotiroid (Tandra, 2011).

d. Pemeriksaan *Free Thyroxine*

Pemeriksaan *Free Thyroxine* (FT4) merupakan cara paling baik untuk mengukur hormon tiroid yang bebas dalam peredaran darah. FT4 menggambarkan hormon yang aktif bekerja pada sel-sel tubuh. Obat-obatan atau penyakit-penyakit lain bisa mempengaruhi kadar T4 total, tetap tidak bisa mempengaruhi jumlah FT4 yang beredar dalam darah. Kadar FT4 normal adalah 9 - 20 pmol/L (piko mol per liter) (Holliman, 2011). Kadar FT4 yang tinggi menunjukkan hipertiroid, sedangkan kadar FT4 yang rendah menunjukkan hipotiroid (Tandra, 2011).

e. Pemeriksaan *Thyroid Stimulating Hormon*

Thyroid-Stimulating Hormon (TSH) adalah hormon yang diproduksi oleh kelenjar hipofisis atau pituari. Ketika hormon tiroid yang beredar didalam darah menurun, TSH akan banyak dikeluarkan. Sebaliknya, jika kebanyakan hormon tiroid, pembentukan TSH akan dikurangi. Pemeriksaan *Thyroid-Stimulating Hormon* (TSH) adalah tes fungsi tiroid yang akurat untuk mengukur fungsi kelenjar tiroid.

Selain itu, pemeriksaan *Thyroid Stimulating Hormon sensitive* (TSHs) memiliki akurasi lebih tinggi atau lebih sensitif jika dibandingkan dengan TSH, yaitu sampai 1/1000 sedangkan TSH hanya sampai 1/100. Kadar normal TSHs adalah 0,25 - 5 µIU/mL (mikroliter unit per mililiter) (Holliman, 2011). Kadar TSHs yang rendah menunjukkan hipertiroid, kadar TSHs yang tinggi menunjukkan hipotiroid (Tandra, 2011).

2.2.6 Skor Gejala dan Tanda-tanda Penyakit Hipertiroid

Indeks Wayne dapat digunakan untuk melakukan diagnosa penyakit hipertiroid. Indeks Wayne sendiri merupakan suatu *checklist* yang berisi ada atau tidaknya gejala-gejala. Pada indeks tersebut terlihat bahwa penderita merasa lebih suka terhadap udara panas atau udara dingin, berat badan menurun atau naik, nafsu makan bertambah atau berkurang, keringat berlebihan, berdebar-debar atau palpitasi, serta gejala dan tanda-tanda lainnya.

Untuk meningkatkan akurasi diagnosa telah dirancang penilaian indeks Wayne, di mana skor diberikan untuk kehadiran atau ketidakhadiran berbagai gejala dan tanda-tanda penyakit tiroid (seperti terlihat pada Tabel 2.1). Pada indeks Wayne, skor lebih dari 19 berarti hipertiroid, skor antara 11 – 19 berarti ragu-ragu dan skor kurang dari 11 berarti tiroid normal (*euthyroid*).

Tingkat keberhasilan dalam diagnosa menggunakan indeks Wayne tidak berbeda dari yang diperoleh dengan pemeriksaan laboratorium, sehingga indeks Wayne adalah alat

diagnostik yang berguna dan berharga dalam melakukan diagnosa penyakit hipertiroid (Setyobudi, 2006).

Tabel 2.1 Indeks Wayne

Gejala	Skor	Tanda-tanda	Skor	
			Ada	Tidak
Sesak nafas	1	Pembesaran tiroid	3	-3
Palpitasi	2	Bruit pada tiroid	2	-2
Mudah lelah	2	Eksophtalmus	2	0
Senang hawa panas	-5	Retraksi palpebra	2	0
Senang hawa dingin	5	Palpebra terlambat	1	0
Keringat berlebihan	3	Gerak hiperkinetik	4	-2
Gugup	2	Telapak tangan kering	2	-2
Nafsu makan bertambah	1	Telapak tangan basah	1	-1
Nafsu makan berkurang	-3	Nadi < 80/menit	-3	0
Berat badan naik	-3	Nadi > 90/menit	3	0
Berat badan turun	3	Fibrasi atrial	4	0

2.3 Sistem Pakar

Sistem pakar atau sistem berbasis pengetahuan (*knowledge based system*) merupakan salah satu bagian dari kecerdasan buatan (*artificial intelligent*) yang memungkinkan komputer dapat berpikir dan mengambil kesimpulan dari sekumpulan aturan. Tujuan dari pengembangan sistem pakar adalah untuk menghasilkan suatu sistem yang dapat membantu pekerjaan manusia, terutama yang berhubungan dengan pemanfaatan keahlian dan pengalaman di suatu bidang tertentu.

Sistem pakar merupakan suatu sistem terkomputerisasi yang menggunakan pengetahuan bidang tertentu untuk mencapai solusi suatu masalah dari bidang tersebut. Sistem pakar dalam memecahkan masalah menggunakan proses yang serupa dengan metode yang digunakan seorang pakar. Solusi yang diberikan sistem pakar pada dasarnya sama seperti yang disimpulkan oleh seorang pakar.

Sistem pakar dibagi menjadi dua bagian utama yaitu lingkungan pengembangan (*development environment*) dan lingkungan konsultasi (*consultation environment*). Lingkungan pengembangan diperuntukkan bagi pembangun sistem pakar untuk membangun komponen dan memasukkan pengetahuan hasil akuisisi pengetahuan ke dalam basis pengetahuan. Sedangkan lingkungan konsultasi diperuntukkan bagi yang bukan pakar untuk

melakukan konsultasi dengan sistem yang tujuannya adalah mendapatkan nasehat dan saran yang setara dengan pakar.

Hasil pemrosesan yang dilakukan oleh mesin inferensi dari sudut pandang pengguna yang bukan pakar berupa konklusi yang di rekomendasikan oleh sistem pakar atau dapat juga berupa penjelasan jika memang dibutuhkan oleh pengguna. Untuk meningkatkan kemampuan sistem pakar, pada sistem tersebut harus dapat dilakukan proses pembaharuan pada basis pengetahuan (*knowledge base*) dan penyempurnaan pada mesin inferensi (*inference engine*) sehingga solusi yang dihasilkan lebih baik daripada sebelumnya (Hartati dan Iswanti, 2008).

Mesin inferensi merupakan prosesor dalam sistem pakar yang mencocokkan fakta dengan domain pengetahuan yang terdapat basis pengetahuan untuk menghasilkan solusi dari suatu masalah. Sedangkan cara penyusunan basis pengetahuan dalam sistem agar dapat memecahkan masalah serupa dengan seorang pakar disebut dengan penyajian pengetahuan (Hartati dan Iswanti, 2008).

Sistem pakar didalam bekerja didasarkan pada *rule base* yang disimpan dalam database. Didalam pengerjaan dengan metode *rule base* terdapat beberapa kekurangan yaitu (Santoso dkk, 2008):

- a. Memerlukan pencocokan yang benar-benar sesuai. Contohnya, jika sakit kepala dan suhu badan naik maka terkena demam. Jika diberi pertanyaan sakit kepala saja, maka aturan diatas tidak dapat memberi kesimpulan apakah terkena demam atau tidak.
- b. Seringkali sulit untuk menghubungkan aturan-aturan (*rule-rule*) yang berhubungan dengan *inference chain* yang merupakan otak dari sistem pakar untuk melakukan pengecekan dari aturan yang satu ke aturan lainnya.

Untuk mengatasi kekurangan dari sistem pakar yang berbasis aturan, maka dikembangkan suatu sistem pakar yang berbasis *fuzzy* sebagai pengolahannya sehingga sistem tersebut dikenal dengan nama sistem pakar *fuzzy* (*fuzzy expert system*). Sistem sistem pakar *fuzzy* merupakan pengembangan sistem pakar yang menggunakan logika *fuzzy* secara keseluruhan, yang meliputi himpunan *fuzzy*, aturan *if-then*, serta proses inferensi (Santoso dkk, 2008).

2.4 Inferensi Fuzzy

Inferensi *Fuzzy* merupakan kerangka komputasi yang didasarkan pada teori himpunan *fuzzy*, aturan *fuzzy* berbentuk *if-then*, dan penalaran *fuzzy*. Inferensi *fuzzy* telah berhasil diterapkan di bidang-bidang seperti kontrol otomatis, klasifikasi data, analisis keputusan dan sistem pakar. Sehingga dari penerapan yang ada dikenal beberapa istilah lain dalam inferensi

fuzzy yaitu *fuzzy rule based*, sistem pakar *fuzzy*, pemodelan *fuzzy*, *fuzzy associative memory* dan pengendalian *fuzzy* (ketika digunakan pada proses kontrol) (Kusumadewi dan Purnomo, 2010).

Dalam inferensi *fuzzy* ada beberapa komponen utama yang dibutuhkan. Komponen tersebut meliputi data variabel input, data variabel output, dan data aturan. Untuk mengolah data variabel input dibutuhkan beberapa fungsi meliputi fungsi fuzzifikasi yang terbagi dua, yaitu fungsi untuk menentukan nilai jenis keanggotaan suatu himpunan dan fungsi penggunaan operator. Fungsi fuzzifikasi akan mengubah nilai crisp (nilai aktual) menjadi nilai *fuzzy*. Selain itu, dibutuhkan pula fungsi defuzzifikasi, yaitu fungsi untuk memetakan kembali nilai *fuzzy* menjadi nilai crisp yang menjadi output solusi permasalahan.

2.4.1 Metode Inferensi *Fuzzy* Mamdani

Metode inferensi *fuzzy* Mamdani adalah metode inferensi *fuzzy* paling populer penggunaannya. Penerapan metode inferensi Mamdani pertama kali dilakukan dengan menggunakan teori himpunan *fuzzy* pada permasalahan sistem kontrol. Metode inferensi Mamdani diusulkan pada tahun 1975 oleh Ebrahim Mamdani sebagai upaya untuk mengontrol mesin uap dan boiler dengan kombinasi sintesis seperangkat aturan kontrol linguistik yang diperoleh dari operator mesin yang berpengalaman. Penerapan sistem kontrol yang dilakukan Mamdani didasarkan paper yang ditulis Lutfi Zadeh 1973 tentang algoritma *fuzzy* untuk sistem kompleks dan proses pengambilan keputusan.

Untuk mendapatkan output dari metode inferensi Mamdani diperlukan empat tahapan sebagai berikut (Kusumadewi dan Purnomo, 2010):

1. Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

Pada metode Mamdani, baik variabel input maupun variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*, sehingga diperlukan pembagian atau partisi dari satu variabel input atau output menjadi beberapa himpunan *fuzzy*. Partisi variabel input atau output diperlukan pada saat desain fungsi keanggotaan, yang pada tesis ini dilakukan pada tahap desain sistem.

Lokasi pemartisian atau titik potong didasarkan pada nilai minimum dan maksimum dari tiap-tiap variabel input atau output x_i pada sebuah interval $[a_i, b_i]$. Pada tiap pembagian variabel input atau output menjadi dua atau lebih himpunan *fuzzy*, dicari lokasi titik potong dari dua atau lebih himpunan *fuzzy* pada interval $[a_i, b_i]$.

Apabila diketahui nilai parameter-parameter variabel input atau output yang merupakan titik potong, maka interval untuk tiap-tiap himpunan *fuzzy* diperoleh dari prosentase nilai minimum panjang interval nilai parameter-parameter variabel input atau output ditambah atau dikurangi dengan interval nilai-nilai parameter variabel input atau output yang bersesuaian.

Percobaan yang dilakukan (Lin et al, 1997) menunjukkan bahwa nilai 30%, 50% dan 65% dari nilai minimum panjang interval parameter-parameter variabel input atau output, merupakan prosentase yang baik sebagai uji untuk banyak kasus. Prosentase dalam percobaan tersebut bukan merupakan prosentase terbaik untuk keseluruhan kasus. Masalah penentuan prosentase terbaik atau prosentse yang lebih baik masih merupakan *open problem* (Murtako, 2006).

2. Aplikasi Fungsi Implikasi

Pada metode Mamdani untuk implikasi digunakan operator AND, yang diperoleh dengan menggunakan fungsi MIN. Fungsi MIN adalah fungsi untuk mencari nilai keanggotaan terkecil dari dua atau lebih operan.

3. Komposisi Aturan

Terdapat tiga metode yang digunakan dalam melakukan komposisi aturan pada inferensi sistem *fuzzy*, yaitu max, sum(*additive*) dan probabilistik OR (*probor*).

a. Metode Max (*Maximum*)

Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah *fuzzy*, dan mengaplikasikannya ke output dengan menggunakan operator OR (*union*). Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka output akan berisi suatu himpunan *fuzzy* yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap proposisi. Secara umum dapat ditulis menggunakan Persamaan (2.11).

$$\mu_{sf}(x_i) = \max(\mu_{sf}(x_i), \mu_{kf}(x_i)) \quad (2.11)$$

dengan $\mu_{sf}(x_i)$ = nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-*i*

$\mu_{kf}(x_i)$ = nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke-*i*

b. Metode Sum (*Additive*)

Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan *bounded-sum* terhadap semua output daerah *fuzzy*. Secara umum dapat ditulis menggunakan Persamaan (2.12).

$$\mu_{sf}(x_i) = \min(1, \mu_{sf}(x_i) + \mu_{kf}(x_i)) \quad (2.12)$$

dengan $\mu_{sf}(x_i)$ = nilai keanggotan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-*i*

$\mu_{kf}(x_i)$ = nilai keanggotan konsekuen *fuzzy* aturan ke-*i*

c. Metode Probabilistik OR (*Probor*)

Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan product terhadap semua output daerah *fuzzy*. Secara umum dapat ditulis menggunakan Persamaan (2.13).

$$\mu_{sf}(x_i) = (\mu_{sf}(x_i) + \mu_{kf}(x_i)) - (\mu_{sf}(x_i) * \mu_{kf}(x_i)) \quad (2.13)$$

dengan $\mu_{sf}(x_i)$ = nilai keanggotan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-*i*

$\mu_{kf}(x_i)$ = nilai keanggotan konsekuen *fuzzy* aturan ke-*i*

4. Penegasan (*defuzzification*)

Langkah terakhir dalam proses inferensi Mamdani adalah defuzzifikasi. Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai output.

Metode defuzzifikasi yang paling populer digunakan adalah metode *centroid* (Coxct, 1999). Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (z^*) daerah *fuzzy*. Secara matematis pusat gravitasi atau *center of gravity* (COG) dapat dinyatakan menggunakan Persamaan (2.14) dan Persamaan (2.15).

$$z^* = \frac{\int_a^b \mu_A(z) z dz}{\int_a^b \mu_A(z) dz} \text{ untuk variabel kontinu, atau} \quad (2.14)$$

$$z^* = \frac{\sum_{z=a}^b \mu_A(z) z}{\sum_{z=a}^b \mu_A(z)} \text{ untuk variabel diskrit} \quad (2.15)$$

Untuk melihat cara kerja metode inferensi Mamdani digunakan ilustrasi masalah sederhana, berupa sistem produksi barang dengan dua input dan satu output, yang memiliki tiga aturan sebagai berikut:

- [R1] IF Biaya Produksi RENDAH
AND Permintaan NAIK
THEN Produksi Barang BERTAMBAH
- [R2] IF Biaya Produksi STANDAR
THEN Produksi Barang STANDAR
- [R3] IF Biaya Produksi TINGGI
AND Permintaan TURUN
THEN Produksi Barang BERKURANG

Tiga aturan untuk sistem produksi barang juga bisa ditulis sebagai berikut (seperti terlihat pada Gambar 2.8):

- [R1] IF x bernilai $A1$ AND y bernilai $B2$
THEN z bernilai $C3$
- [R2] IF x bernilai $A2$
THEN z bernilai $C2$
- [R3] IF x bernilai $A3$ AND y bernilai $B1$
THEN z bernilai $C1$

dengan x , y dan z (biaya produksi, permintaan dan produksi barang) adalah variabel linguistik; $A1$, $A2$ dan $A3$ (rendah, standar dan tinggi) adalah nilai linguistik yang ditentukan oleh himpunan *fuzzy* pada semesta pembicaraan X (biaya produksi); $B1$ dan $B2$ (turun dan naik) adalah nilai linguistik yang ditentukan oleh himpunan *fuzzy* pada semesta pembicaraan Y (permintaan); $C1$, $C2$ dan $C3$ (berkurang, normal dan bertambah) adalah nilai linguistik yang ditentukan oleh himpunan *fuzzy* pada semesta pembicaraan Z (produksi barang).

2.5 Validasi Sistem

Validasi sistem dilakukan sebagai proses pengujian kinerja atau tingkat keberhasilan sistem. Proses validasi sistem dilakukan setelah desain dan implementasi terhadap sistem. Proses validasi terhadap sistem dilakukan dengan memasukkan data uji kedalam sistem. Hal

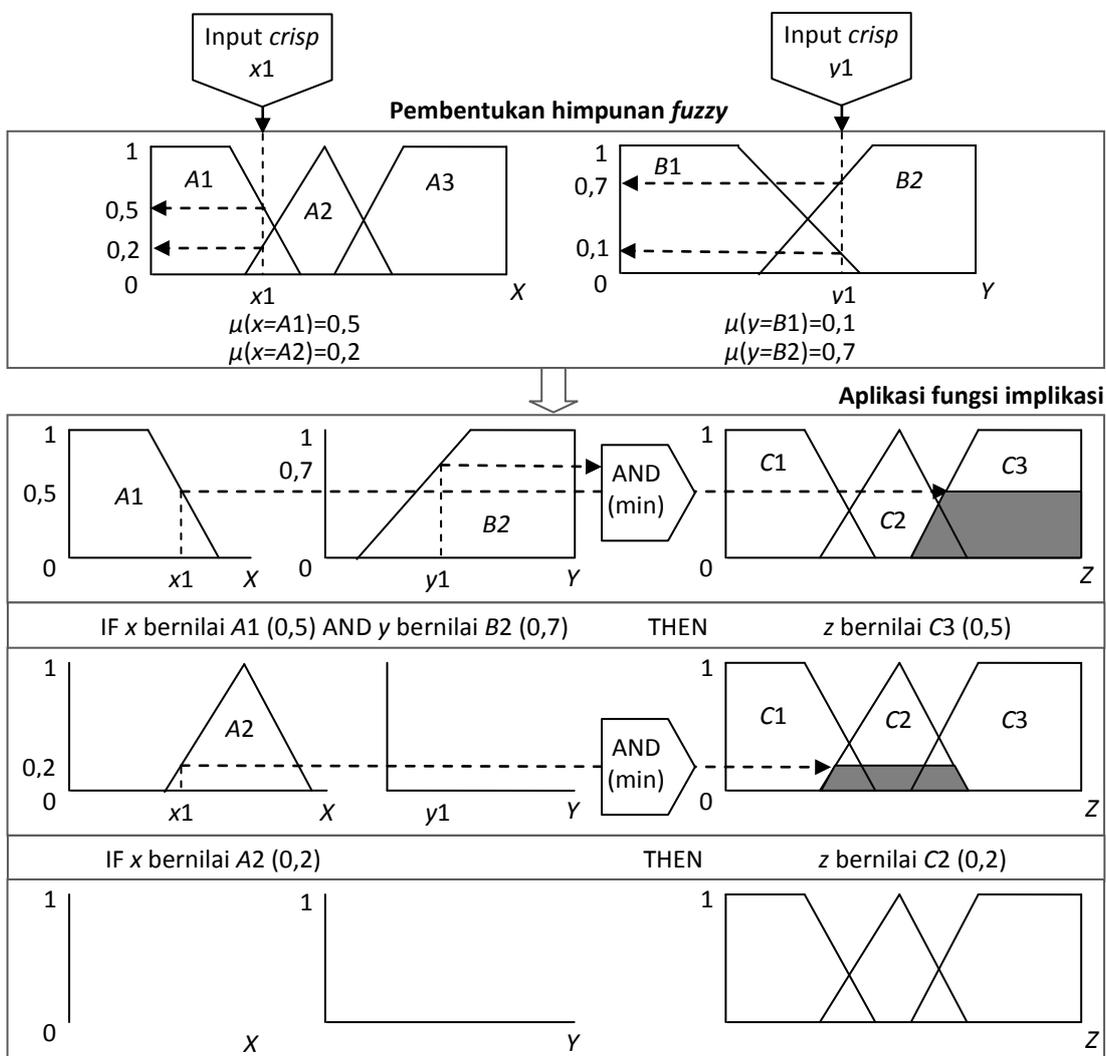
ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sejauh mana sistem memiliki tingkat keberhasilan, berdasarkan data uji yang telah dimasukkan kedalam sistem.

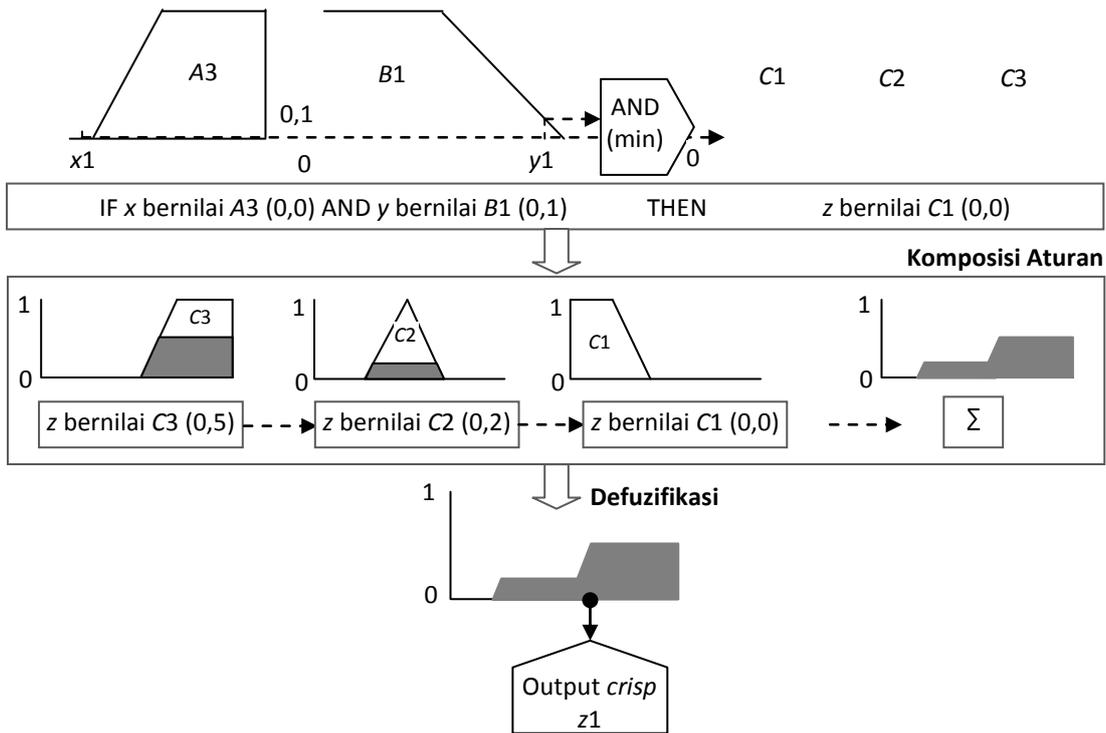
Pada tesis ini tingkat keberhasilan sistem ditentukan berdasarkan ketepatan diagnosa. Perhitungan ketepatan diagnosa diperoleh dari perbandingan antara hasil diagnosa sistem yang sama dengan diagnosa dokter dibandingkan dengan banyaknya data yang diujikan dikalikan 100%. Validasi sistem dirumuskan dengan menggunakan Persamaan (2.16) (Sandra, 2005).

$$\text{Validasi (\%)} = (A/B) * 100\% \quad (2.16)$$

A = Banyaknya hasil diagnosa sistem yang sama dengan hasil diagnosa dokter

B = Banyaknya data yang diujikan





Gambar 2.8 Struktur Dasar Inferensi fuzzy Mamdani