

# Aplikasi Sistem Pakar untuk Diagnosa Penyakit Hipertiroid dengan Metode Inferensi *Fuzzy Mamdani*

<sup>a</sup>Ahmad Kamsyakawuni, <sup>b</sup>Rachmad Gernowo, <sup>c</sup>Eko Adi Sarwoko

<sup>a</sup>Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Jember

<sup>b</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro

<sup>a</sup>Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro

## Abstract

Medical diagnosis is a complex issue that is influenced by various factors and settlement involving all the capabilities of experts, including expert intuition owned. Diagnosis of thyroid disease is difficult, because the symptoms of thyroid disease can vary greatly, depending on the ups and downs of thyroid hormones. This study applies an expert system for diagnosis of hyperthyroidism using Mamdani fuzzy inference methods. Expert system expertise needed to gain knowledge from the experts in resolving hyperthyroidism diagnosis while Mamdani fuzzy inference is used for the processing of knowledge in order to obtain the consequence or conclusion which is the result of diagnosis. The process of Mamdani fuzzy inference in this study began with the formation of fuzzy set continued with the application process implications functions, then the composition rule and ending with defuzzification process. An expert system for the diagnosis of hyperthyroidism that has been applied with a symptom score of the input data, the results of the blood tests TSHs level and FT4 levels, output data in the form of diagnosis, the diagnosis has been successfully for tested the input data, with an accuracy of 95.45%.

**Keywords:** Expert systems; Fuzzy inference Mamdani; Hyperthyroidism

## 1. Pendahuluan

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.

Logika *fuzzy* telah diaplikasikan dalam bidang kedokteran, yang didalamnya terdapat ketidakpastian. Bidang kedokteran merupakan contoh permasalahan untuk aplikasi logika *fuzzy*, karena terdapat ketidakpastian, ketidaktepatan pengukuran, keanekaragaman dan subjektivitas yang secara jelas hadir dalam melakukan diagnosa medis (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 baik 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 membahas aplikasi sistem pakar untuk diagnosa penyakit hipertiroid dengan metode inferensi *fuzzy Mamdani*. 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.

## 2. Kerangka Teori

### 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

\* e-mail: kamsyakawuni@gmail.com

menjadi anggota himpunan A, apabila  $x$  memiliki nilai keanggotaan *fuzzy*  $\mu_A(x) = 1$ , berarti  $x$  menjadi anggota penuh pada himpunan A.

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).

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. Bentuk fungsi yang bisa digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan dengan melalui pendekatan fungsi, yaitu 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 dengan derajat keanggotaan nol bergerak ke kanan menuju ke nilai domain dengan derajat keanggotaan lebih tinggi (seperti Gambar 1) dan dinyatakan menggunakan (1).

Persamaan (1) diperoleh dengan cara memasukkan dua koordinat titik yang ada pada Gambar 1, yaitu titik  $(a, 0)$  dan titik  $(b, 1)$  ke persamaan garis untuk dua titik, yang dinyatakan menggunakan (2).

Kedua, merupakan 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 Gambar 2) dan dinyatakan menggunakan (3).

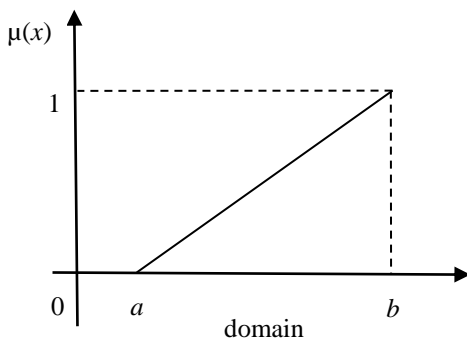
Persamaan (3) diperoleh dengan cara memasukkan dua koordinat titik yang ada pada Gambar 2, yaitu titik  $(a, 1)$  dan titik  $(b, 0)$  ke persamaan garis untuk dua titik, yang dinyatakan menggunakan (2).

Representasi kurva Segitiga merupakan gabungan antara dua garis linier yaitu garis linier naik dan garis linier turun (Gambar 3), dinyatakan menggunakan (3).

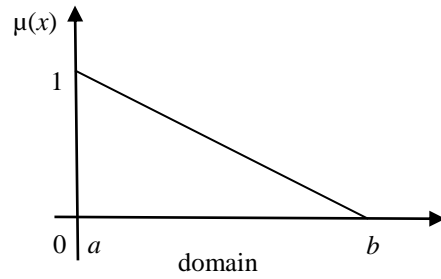
$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \text{ atau } x > b \\ (x - a)/(b - a), & a \leq x \leq b \end{cases} \quad (1)$$

$$(y - y_1)/(y_2 - y_1) = (x - x_1)/(x_2 - x_1) \quad (2)$$

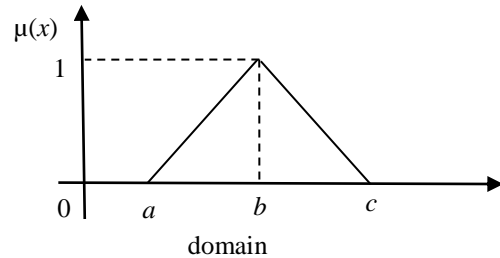
$$\mu(x) = \begin{cases} (b - x)/(b - a), & a \leq x \leq b \\ 0, & x < a \text{ atau } x > b \end{cases} \quad (3)$$



Gambar 1. Representasi linier naik



Gambar 2. Representasi linier turun



Gambar 3. Representasi kurva segitiga

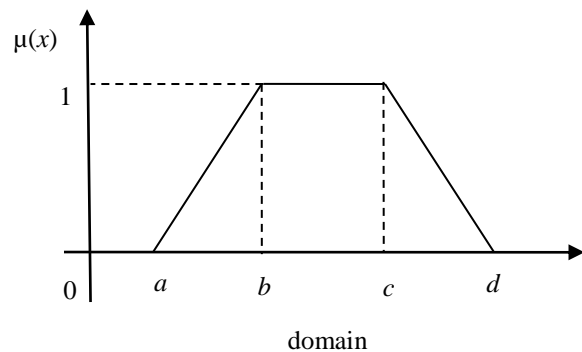
$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \text{ atau } x > c \\ (x - a)/(b - a), & a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b), & b < x \leq c \end{cases} \quad (4)$$

Representasi kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 (seperti Gambar 4), dinyatakan menggunakan (5).

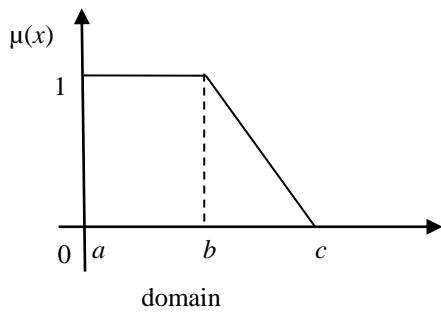
Representasi kurva bentuk bahu terdiri dari kurva bentuk bahu kiri dan kurva bentuk bahu kanan. Representasi kurva bentuk bahu kiri merupakan gabungan dari garis yang memiliki nilai keanggotaan satu dengan garis linier turun (seperti Gambar 5), dinyatakan dengan menggunakan (6)

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \text{ atau } x > d \\ (x - a)/(b - a), & a \leq x \leq b \\ 1, & b < x \leq c \\ (d - x)/(d - c), & c < x \leq d \end{cases} \quad (5)$$

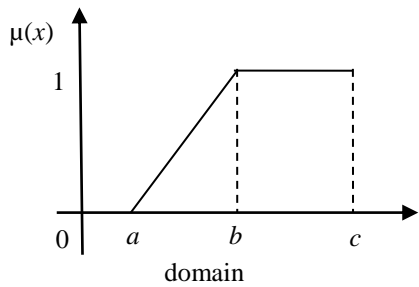
$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b), & b < x \leq c \\ 0, & x < a \text{ atau } x > c \end{cases} \quad (6)$$



Gambar 4. Representasi kurva trapesium



Gambar 5. Representasi kurva bahu kiri



Gambar 6. Representasi kurva bahu kanan

Representasi kurva bentuk bahu kanan merupakan gabungan dari garis linier naik dengan garis yang memiliki nilai keanggotaan satu (seperti Gambar 6) dan dinyatakan dengan menggunakan Persamaan (7).

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \text{ atau } x > c \\ (x - a)/(b - a), & a \leq x \leq b \\ 1, & b < x \leq c \end{cases} \quad (7)$$

2.3. Gambaran Umum Penyakit Hipertiroid

Hipertiroid ialah hiperfungsi kelenjar tiroid dan sekresi berlebihan dari hormon 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 turun, pasien merasa panik, tegang, sulit tidur, jantung berdebar-debar, tangan gemetar, dan mata terbelalak keluar (*eksophtalmus*). 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).

2.4. Pemeriksaan Kelenjar Tiroid

Pemeriksaan kelenjar tiroid biasanya dilakukan secara berkala untuk memantau hasil pengobatan dan untuk mengetahui kadar hormon tiroid, naik atau turun.

a. 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). Kadar FT4 yang tinggi menunjukkan hipertiroid, sedangkan kadar FT4 yang rendah menunjukkan hipotiroid (Tandra, 2011).

b. 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.

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 μU/mL (mikroliter unit per mililiter). Kadar TSHs yang rendah menunjukkan hipertiroid, kadar TSHs yang tinggi menunjukkan hipotiroid (Tandra, 2011).

2.5. Skor Gejala dan Tanda-tanda Hipertiroid

Indeks Waynedapat 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 Tabel 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*).Indeks Wayne adalah alat diagnostik yang berguna dan berharga dalam melakukan diagnosa penyakit hipertiroid (Setyobudi, 2006).

Tabel 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

2.6. 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).

### 2.7. Inferensi Fuzzy Mamdani

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 *fuzzyrulebased*, sistem pakar fuzzy, pemodelan fuzzy, *fuzzyassosiativememory* 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.

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):

#### a. 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 prosentase yang lebih baik masih merupakan *open problem* (Murtako, 2006).

#### b. 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.

#### c. Komposisi Aturan

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

Pada metode Max (*Maximum*), 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 (8).

$$\mu_{sf}(x_i) = \max(\mu_{sf}(x_i), \mu_{kf}(x_i)) \quad (8)$$

dengan

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

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

Pada metode Sum (*Additive*), solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan *bounded-sum* terhadap semua output daerah *fuzzy*. Secara umum dapat ditulis menggunakan (9).

$$\mu_{sf}(x_i) = \min(1, \mu_{sf}(x_i) + \mu_{kf}(x_i)) \quad (9)$$

dengan

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

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

Pada metode Probabilistik OR (*Probor*), solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan product terhadap semua output daerah *fuzzy*. Secara umum dapat ditulis menggunakan (10).

$$\mu_{sf}(x_i) = (\mu_{sf}(x_i) + \mu_{kf}(x_i)) - (\mu_{sf}(x_i) * \mu_{kf}(x_i)) \quad (10)$$

dengan

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

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

d. 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 (11) dan (12).

$$z^* = \frac{\int_a^b \mu_A(z) z dz}{\int_a^b \mu_A(z) dz} \text{ untuk variabel kontinu, atau} \quad (11)$$

$$z^* = \frac{\sum_{z=a}^b \mu_A(z) z}{\sum_{z=a}^b \mu_A(z)} \text{ untuk variabel diskrit} \quad (12)$$

2.8. 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 (13) (Sandra, 2005).

$$\text{Validasi}(\%) = (A/B) * 100\% \quad (13)$$

3. Metodologi (2.11)

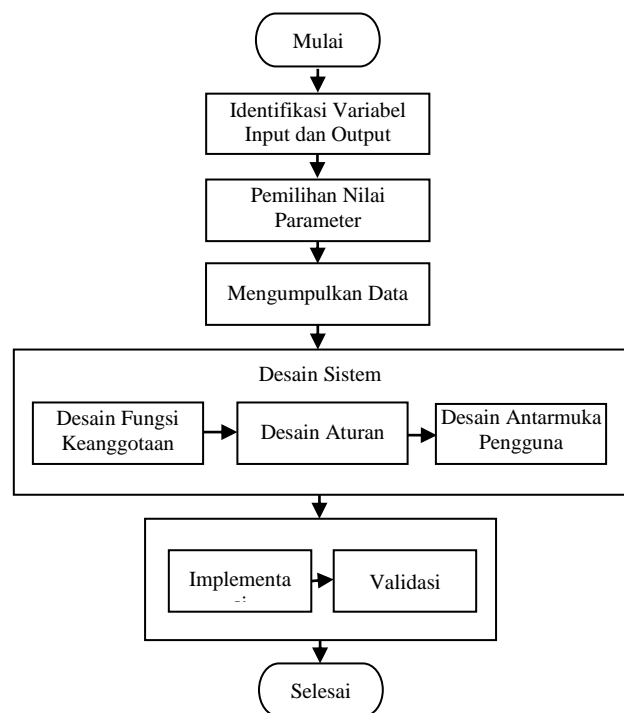
Dalam penelitian ini digunakan beberapa data yang berkaitan dengan pasien penderita Hipertiroid. Data-data tersebut terdiri dari gejala klinis, tanda-tanda klinis dan hasil tes darah. Data hasil tes darah terdiri dari kadar *free thyroxine* (FT4) dan kadar *Thyroid Stimulating Hormone-sensitive*(TSHs). Data pemeriksaan darah pasien didapat dari hasil pengambilan data dari bagian rekam medis RSD dr. Soebandi dan RSUD Dr. Soetomo Surabaya

Dalam membuat aplikasi sistem pakar untuk diagnosa hipertiroid yang dialami oleh seorang pasien dengan gejala dan tanda-tanda klinis tertentu digunakan langkah-langkah seperti pada Gambar 7.

3.1. Identifikasi Variabel Input dan Output

Untuk identifikasi variabel input dan output ditentukan berdasarkan studi literatur, yang diperoleh dari literatur medis tentang hipertiroid. Dari studi literatur tersebut selanjutnya dilakukan konsultasi dengan dokter spesialis penyakit dalam dan dokter spesialis endokrin (penyakit kelainan hormon) untuk memastikan apakah identifikasi input dan output dari hasil studi literatur sudah benar.

Pada aplikasi sistem pakar untuk diagnosa hipertiroid digunakan tiga variabel input dan satu variabel output. Variabel input terdiri dari skor gejala, kadar *free thyroxine* (FT4) dan kadar *Thyroid Stimulating Hormon-sensitive* (TSHs). Sedangkan variabel outputnya terdiri dari satu variabel yaitu variabel diagnosa (lihat Tabel 2).



Gambar 7. Diagram alir langkah-langkah penelitian

3.2. Pemilihan Nilai Parameter

Pemilihan nilai parameter input dan output dilakukan berdasarkan pada studi literatur yang berkaitan dengan penyakit hipertiroid. Parameter-parameter yang dipilih sangat menentukan terhadap hasil diagnosa dari sistem yang akan diimplementasikan.

Nilai-nilai parameter dan skala interval untuk variabel kadar *free thyroxine* (FT4) dan kadar *Thyroid Stimulating Hormone-sensitive*(TSHs) diperoleh dari literatur tentang tiroid (lihat penjelasan 2.4) serta data rekam medis RSD dr. Soebandi dan RSUD Dr. Soetomo (lihat Tabel 2). Nilai-nilai parameter dan skala interval untuk variabel skor gejala (lihat Tabel 3) diperoleh dari literatur tentang indeks Wayne (lihat penjelasan 2.5). Nilai-nilai parameter dan skala interval untuk variabel diagnosa diperoleh melalui konsultasi dengan pakar dari RSD dr. Soebandi Jember dan RSUD Dr. Soetomo Surabaya (lihat Tabel 4).

Tabel 2. Nilai parameter dan skala interval variabel FT4 dan TSHs

Nama Variabel	Parameter			Skala Interval
	Rendah	Normal	Tinggi	
Kadar FT4	< 9	9 – 20	> 20	0 – 100
Kadar TSHs	< 0,25	0,25 – 5	> 5	0 – 100

Tabel 3. Nilai parameter dan skala interval variabel skor gejala

Nama Variabel	Parameter			Skala Interval
	Rendah	Sedang	Tinggi	
Skor gejala	< 11	11 – 19	> 19	0 – 42

Tabel 4. Nilai parameter dan skala interval variabel diagnosa

Nama Variabel	Parameter			Skala Interval
	Normal	Subklinis	Hipertiroid	
Diagnosa	< 20	20 – 50	> 50	0 – 80

3.3. Desain Sistem

Desain sistem pakar ini terbagi menjadi tiga yaitu desain fungsi keanggotaan, desain aturan (*rule-base*) dan desain antar muka pengguna (Gambar 7).

Desain fungsi keanggotaan dilakukan dengan cara memetakan variabel input dan output kedalam nilai keanggotaannya beserta menentukan nilai domain yang sesuai berdasarkan nilai-nilai parameter yang sudah ditentukan pada tahap pemilihan nilai parameter.

Untuk menentukan *rule-base* yang akan digunakan dalam sistem pakar ini, diperlukan secara insentif konsultasi ke dokter spesialis penyakit dalam dan dokter spesialis endokrin (penyakit kelainan hormon).

Desain antarmuka pengguna, didesain berdasarkan input dan output dari aplikasi sistem pakar untuk diagnosa hipertiroid. Desain antarmuka pengguna terdiri dari desain antarmuka untuk konsultasi dan desain antarmuka untuk pengembangan (*development*). Antarmuka konsultasi diperuntukkan bagi yang bukan pakar untuk melakukan konsultasi.

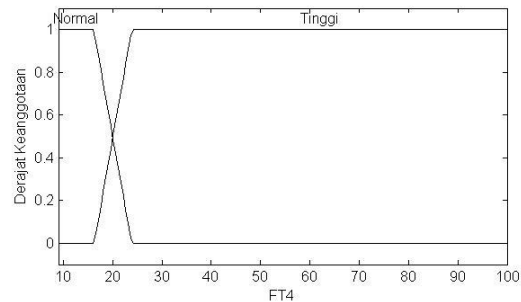
A. Desain Fungsi Keanggotaan

Ada empat desain fungsi keanggotaan yang diperlu untuk membuat aplikasi sistem pakar untuk diagnosa penyakit hipertiroid, yaitu desain fungsi keanggotaan

variabel kadar FT4, kadar TSHs, skor gejala dan variabel diagnosa.

Variabel FT4 dibagi menjadi tiga nilai parameter yaitu kadar rendah (< 9), kadar normal (9 ≤ FT4 ≤ 20) dan kadar tinggi (> 20). Berdasarkan pembagian nilai parameter ini dan permasalahan diagnosa hipertiroid, dimana parameter yang berpengaruh hanya kadar normal dan kadar tinggi sehingga dapat ditentukan fungsi keanggotaan untuk himpunan *fuzzy* pada variabel FT4 yaitu normal dan tinggi (seperti Gambar 8).

Nilai interval himpunan *fuzzy* pada variabel FT4 diperoleh dari 30% dikalikan dengan nilai minimum panjang interval nilai parameter-parameter variabel FT4 (lihat Tabel 2) ditambah atau dikurangi dengan interval nilai-nilai parameter variabel FT4 yang bersesuaian (lihat penjelasan 2.7).



Gambar 8. Kurva Himpunan *Fuzzy* pada Variabel FT4

Persamaan fungsi keanggotaan untuk variabel FT4 menggunakan (14) dan (15).

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 1; & x < 16,7 \\ (23,3 - x)/6,6; & 16,7 \leq x \leq 23,3 \text{ (14)} \\ 0; & x > 23,3 \end{cases}$$

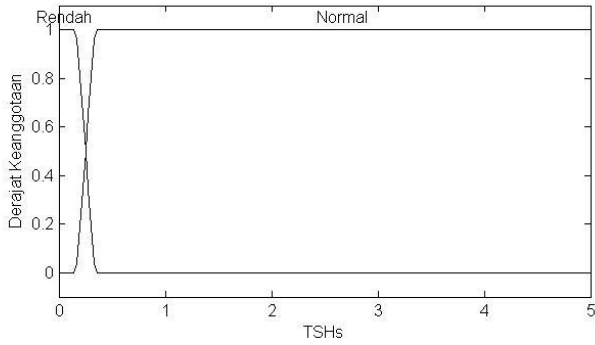
$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0; & x < 16,7 \\ (x - 16,7)/6,6; & 16,7 \leq x \leq 23,3 \text{ (15)} \\ 1; & x > 23,3 \end{cases}$$

Variabel kadar TSHs dibagi menjadi tiga nilai parameter yaitu kadar rendah (< 0,25), kadar normal (0,25 ≤ TSHs ≤ 5) dan kadar tinggi (> 5). Berdasarkan pembagian nilai parameter ini dan permasalahan diagnosa hipertiroid, dimana parameter yang berpengaruh hanya kadar rendah dan kadar normal sehingga dapat ditentukan fungsi keanggotaan untuk setiap himpunan *fuzzy* pada variabel TSHs yaitu rendah dan normal (seperti pada Gambar 9).

Nilai interval himpunan *fuzzy* pada variabel TSHs diperoleh dari 30% dikalikan dengan nilai minimum panjang interval nilai parameter-parameter variabel TSHs (lihat Tabel 2) ditambah atau dikurangi dengan interval nilai-nilai parameter variabel TSHs yang bersesuaian (lihat penjelasan 2.7). Persamaan fungsi keanggotaan untuk variabel kadar TSHs dinyatakan menggunakan (16) dan (17).

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 1; & x < 0,17 \\ (0,33 - x)/0,16; & 0,17 \leq x \leq 0,33 \text{ (16)} \\ 0; & x > 0,33 \end{cases}$$

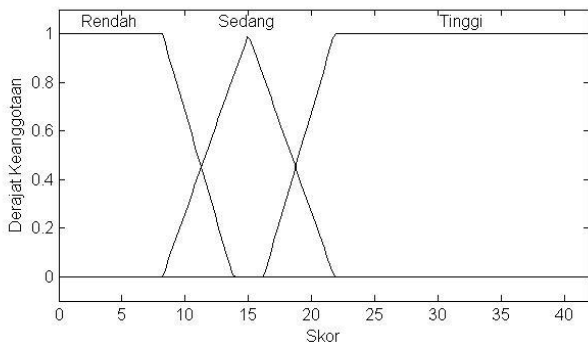
$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 0; & x < 0,17 \\ (x - 0,17)/0,16; & 0,17 \leq x \leq 0,33 \text{ (17)} \\ 1; & x > 0,33 \end{cases}$$



Gambar 9. Kurva Himpunan Fuzzy pada Variabel TSHs

Variabel skor gejala merupakan representasi gejala dan tanda-tanda hipertiroid. Variabel ini dibagi dalam tiga nilai parameter yaitu nilai skor rendah (< 11), nilai skor sedang (11 ≤ skor ≤ 19) dan nilai skor tinggi (> 19) (Tabel 3). Berdasarkan pembagian nilai parameter ini, dapat ditentukan fungsi keanggotaan untuk setiap himpunan fuzzy pada variabel skor gejala yaitu rendah, sedang dan tinggi (seperti pada Gambar 10).

Nilai interval himpunan fuzzy pada variabel skor gejala diperoleh dari 30% dikalikan dengan nilai minimum panjang interval nilai parameter-parameter variabel skor gejala (lihat Tabel 3) ditambah atau dikurangi dengan interval nilai-nilai parameter variabel skor gejala yang bersesuaian (lihat 2.7).



Gambar 10. Kurva Himpunan Fuzzy pada Variabel Skor

Persamaan fungsi keanggotaan untuk variabel skor gejala dinyatakan menggunakan (18), (19) dan (20).

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 1; & x < 8,6 \\ (13,4 - x)/4,8; & 8,6 \leq x \leq 13,4 \\ 0; & x > 13,4 \end{cases} \quad (18)$$

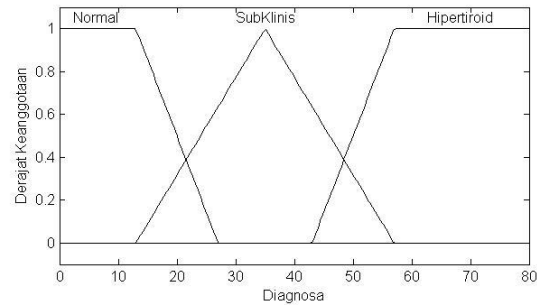
$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0; & x < 8,6 \text{ atau } x > 21,4 \\ (x - 8,6)/6,4; & 8,6 \leq x \leq 15 \\ (21,4 - x)/6,4; & 15 < x \leq 21,4 \end{cases} \quad (19)$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0; & x < 16,6 \\ (x - 16,6)/4,8; & 16,6 \leq x \leq 21,4 \\ 1; & x > 21,4 \end{cases} \quad (20)$$

Variabel diagnosa dibagi dalam tiga nilai parameter yaitu normal (< 20), subklinis (20 ≤ subklinis ≤ 50) dan hipertiroid (> 50). Berdasarkan pembagian nilai parameter ini, dapat ditentukan fungsi keanggotaan pada setiap

himpunan fuzzy untuk variabel diagnosa yaitu normal, subklinis dan hipertiroid (seperti pada Gambar 11).

Nilai interval himpunan fuzzy pada variabel diagnosa diperoleh dari 30% dikalikan dengan nilai minimum panjang interval nilai parameter-parameter variabel diagnosa (lihat Tabel 4) ditambah atau dikurangi dengan interval nilai-nilai parameter variabel diagnosa yang bersesuaian (lihat 2.7).



Gambar 11. Kurva Himpunan Fuzzy pada Variabel Diagnosa

Persamaan fungsi keanggotaan untuk variabel diagnosa dinyatakan menggunakan (21), (22) dan(23).

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 1; & x < 14 \\ (26 - x)/12; & 14 \leq x \leq 26 \\ 0; & x > 26 \end{cases} \quad (21)$$

$$\mu_{Subklinis}(x) = \begin{cases} 0, & x < 14 \text{ atau } x > 56 \\ (x - 14)/21; & 14 \leq x \leq 35 \\ (56 - x)/21; & 35 < x \leq 56 \end{cases} \quad (22)$$

$$\mu_{Hipertiroid}(x) = \begin{cases} 0; & x < 44 \\ (x - 44)/12; & 44 \leq x \leq 56 \\ 1; & x > 56 \end{cases} \quad (23)$$

**B. Desain Aturan (rule-base)**

Berdasarkan identifikasi variabel input, variabel output dan desain fungsi keanggotaan selanjutnya ditentukan desain aturan (rule-base). Pada desain aturan ini digunakan tiga variabel linguistik yaitu skor gejala, TSHs, FT4 dan diagnosa. Penggunaan tiga variabel tersebut didasarkan pada penelitian sebelumnya yaitu diagnosa hipotiroid menggunakan sistem inferensi fuzzy Mamdani yang dilakukan KhanaledanAmbilwade,dalam penelitian tersebut selain menggunakan hasil pemeriksaan darah (TSH dan T4) juga menggunakan variabel skor gejala sebagai variabel input, sedangkan variabel diagnosa sebagai variabel output.

Variabel linguistik skor gejala terdiri dari tiga nilai linguistik yaitu rendah, sedang dan tinggi. Variabel linguistik TSHs terdiri dari dua nilai linguistik yaitu rendah, dan normal. Variabel linguistik FT4 terdiri dari dua nilai linguistik yaitu normal dan tinggi. Variabel linguistik diagnosa terdiri dari tiga nilai linguistik yaitu normal, subklinis dan hipertiroid. Jumlah aturan ditetapkan berdasarkan perkalian dari semua kemungkinan nilai linguistik yang ada pada ke tiga variabel linguistik (skor gejala, TSHs, FT4), sehingga diperoleh sebanyak 12 aturan (lihat Tabel 5). Dengan asumsibahwa semua nilai linguistik pada input variabel (skor gejala, TSHs, FT4) harus ada nilainya.

Tabel 5. Data aturan

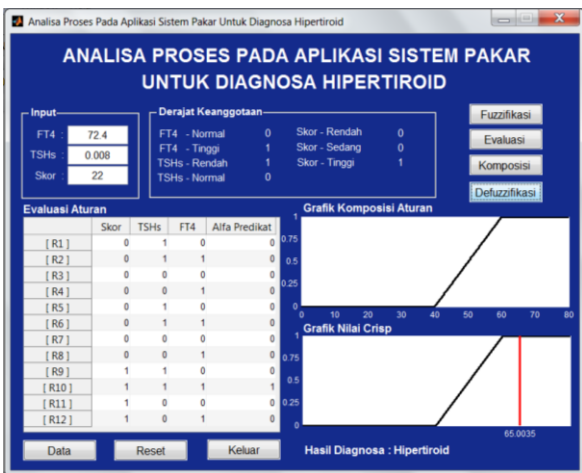
Aturan	Anteseden			Konsekuensi
	Skor	TSHs	FT4	Diagnosa
R1	rendah	rendah	normal	subklinis hipertiroid
R2	rendah	rendah	tinggi	hipertiroid
R3	rendah	normal	normal	normal
R4	rendah	normal	tinggi	subklinis hipertiroid
R5	sedang	rendah	normal	subklinis hipertiroid
R6	sedang	rendah	tinggi	hipertiroid
R7	sedang	normal	normal	normal
R8	sedang	normal	tinggi	subklinis hipertiroid
R9	tinggi	rendah	normal	subklinis hipertiroid
R10	tinggi	rendah	tinggi	hipertiroid
R11	tinggi	normal	normal	normal
R12	tinggi	normal	tinggi	hipertiroid

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil

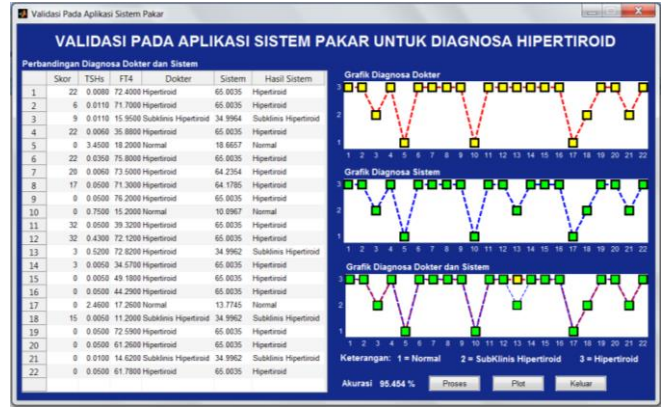
Aplikasi sistem pakar untuk diagnosa penyakit hipertiroid dengan menggunakan metode inferensi fuzzy Mamdani dibuat menggunakan program MATLAB R2012a. Hasil penelitian ini, disajikan tampilan halaman analisa proses dan tampilan halaman validasi.

Pada halaman analisa prostedapat beberapa fasilitas untuk melakukan analisa proses yang ada dalam sistem pakar, mulai dari proses awal yaitu fuzifikasi, evaluasi aturan, komposisi aturan sampai proses terakhir yaitu defuzifikasi. Apabila diberikan data gejala dan tanda-tanda hipertiroid (seperti pada Tabel 6) dengan perhitungan nilai indeks Wayne-nya sama dengan 22, kemudian hasil pemeriksaan darah FT4=72,4 pmol/dL dan TSHs=0,008 µIU/mL, maka akan diperoleh hasil diagnosa sistem adalah hipertiroid (lihat Gambar 12).



Gambar 12. Tampilan halaman analisa proses

Pada halaman validasi dapat dilihat perbandingan antara diagnosa dokter dengan diagnosa sistem, dalam bentuk tabel dan grafik perbandingan diagnosa, selain itu juga dapat dilihat hasil perhitungan validasi dalam bentuk nilai prosentase akurasi sistem (lihat Gambar 13).



Gambar 13. Tampilan halaman validasi

Tabel 6. Data gejala dan tanda-tanda hipertiroid

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

4.2 Pembahasan

Data yang digunakan dalam artikel ini berjumlah 22 data. Berdasarkan pada Tabel 7 terlihat bahwa terdapat sebanyak 21 data yang sama antara diagnosa dokter dengan diagnosa sistem dan terdapat sebanyak 1 data yang tidak sama antara diagnosa dokter dengan diagnosa sistem (baris nomor 13). Perhitungan akurasi sistem atau keberhasilan sistem yang sudah dibangun dengan menggunakan (2), yaitu dengan melakukan perbandingan antara hasil diagnosa sistem yang sama dengan diagnosa dokter, dibandingkan dengan banyaknya data yang diujikan dikalikan 100%, sehingga diperoleh akurasi sebesar 95,45%.

Tabel 7. Perbandingan hasil diagnosa dokter dengan sistem

No.	Skor	TSHs	FT4	Diagnosa Dokter	Output Sistem	Hasil Sistem
1	22	0,008	72,4	Hipertiroid	65,00	Hipertiroid
2	6	0,011	71,7	Hipertiroid	65,00	Hipertiroid
3	9	0,011	15,95	Subklinis Hipertiroid	35,00	Subklinis Hipertiroid
4	22	0,006	35,88	Hipertiroid	65,00	Hipertiroid
5	0	3,45	18,2	Normal	18,66	Normal
6	22	0,035	75,8	Hipertiroid	65,00	Hipertiroid
7	20	0,006	73,5	Hipertiroid	64,23	Hipertiroid
8	17	0,05	71,3	Hipertiroid	64,18	Hipertiroid
9	0	0,05	76,2	Hipertiroid	65,00	Hipertiroid
10	0	0,75	15,2	Normal	10,10	Normal
11	32	0,05	39,32	Hipertiroid	65,00	Hipertiroid
12	32	0,43	72,12	Hipertiroid	65,00	Hipertiroid
13	3	0,52	72,82	Hipertiroid	35,00	Subklinis Hipertiroid
14	3	0,005	34,57	Hipertiroid	65,00	Hipertiroid
15	0	0,005	49,18	Hipertiroid	65,00	Hipertiroid
16	0	0,05	44,29	Hipertiroid	65,00	Hipertiroid
17	0	2,46	17,26	Normal	13,77	Normal



No.	Skor	TSHs	FT4	Diagnosa Dokter	Output Sistem	Hasil Sistem
18	15	0,005	11,2	Subklinis Hipertiroid	35,00	Subklinis Hipertiroid
19	0	0,05	72,59	Hipertiroid	65,00	Hipertiroid
20	0	0,05	61,26	Hipertiroid	65,00	Hipertiroid
21	0	0,01	14,62	Subklinis Hipertiroid	35,00	Subklinis Hipertiroid
22	0	0,05	6178	Hipertiroid	65,00	Hipertiroid

## 5. Kesimpulan

Aplikasi sistem pakar dapat digunakan untuk diagnosa hipertiroid dengan metode inferensi *fuzzy* Mamdani, yang inputnya berupa skor gejala, hasil pemeriksaan darah berupa kadar TSHs dan kadar FT4 serta outputnya berupa hasil diagnosa, diperoleh akurasi sebesar 95,45%.

Penentuan parameter input dan aturan (*rulebase*) yang tepat dengan konsultasi melalui pakar akan sangat mempengaruhi akurasi dari hasil diagnosa sistem.

## Ucapan Terima Kasih

Pada akhir tulisan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Jakarta
2. Rumah Sakit Umum Dr. Soetomo Surabaya
3. Rumah Sakit Daerah dr. Soebandi Jember

## Daftar Pustaka

- Ali, K., Aytürk, K., 2008. ESTDD: Expert system for thyroid diseases diagnosis. *Expert Systems with Applications*, 34, 242–246.
- Alayón, S., Roberston, R. K., Warfield, S., Ruiz-Alzoa, J., 2007. A Fuzzy System for Helping Medical Diagnosis of Malformations of Cortical Development. *Journal Biomedical Information*, 40 (3), 221–235.

- Coxct, E., 1999. *The Fuzzy Systems Handbook: A Practitioner's Guide to Building, Using, and Maintaining Fuzzy Systems, 2nd edition. Academic Press, San Diego, CA.*
- Gelley, N., Jang, R., 2000. *Fuzzy Logic Toolbox, Mathwork, Inc., USA.*
- Hartati, S., Iswanti, S., 2008. *Sistem Pakar dan Pengembangannya. Graha Ilmu, Yogyakarta.*
- Khanale, P. B., Ambilwade, R. P., 2011. A Fuzzy Inference System for Diagnosis of Hypothyroidism. *Journal of Artificial Intelligence* 4 (1), 45–54.
- Kusumadewi, S., Purnomo, H., 2010. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan. Edisi Kedua. Graha Ilmu, Yogyakarta.*
- Lin, Y., Cunningham III, G.A, dan Coggeshall, S.V., 1997. Using Fuzzy Partition to Create Fuzzy Systems from Input-Output Data and Set the Initial Weight in a Fuzzy Neural Network, *IEEE Trans. On Fuzzy Syst.*, 5 (4), 614–621.
- Murtako, A., 2006. Partisi Fuzzy untuk Keterhubungan Nonlinier Data Input-Output dan Penggunaannya sebagai Pengklasifikasi Pola. *Tesis, Universitas Indonesia, Jakarta.*
- Naba, A., 2009. *Belajar Cepat Fuzzy Logic Menggunakan MATLAB. Andi, Yogyakarta.*
- Negnevitsky, M., 2005. *Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems. Second Edition. Pearson Education, Harlow.*
- Santoso, L. W., Intan, R., Sugianto, F., 2008. *Implementasi Fuzzy Expert System Untuk Analisa Penyakit Dalam Pada Manusia. Yogyakarta : Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI 2008).*
- Sandra, 2005. Aplikasi jaringan syaraf tiruan untuk pendugaan mutu mangga segar secara non-destruktif. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 6 (1), 66–72.
- Setiyobudi, B., 2006. *Buku Ajar Ilmu Penyakit Dalam. Fakultas Kedokteran. Universitas Indonesia, Jakarta.*
- Sivanandam, S., N., Sumathi S., dan Deepa. 2007. *Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB, Springer, Verlag Berlin Heidelberg.*
- Tandra, H., 2011. *Mencegah dan Mengatasi Penyakit Tiroid. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.*
- Temurtas, F., 2009. A Comparative study on thyroid disease diagnosis using neural networks. *Expert Systems with Applications* 36, 944–949.