

**STUDI INFERENSI *FUZZY* TSUKAMOTO UNTUK PENENTUAN
FAKTOR PEMBEBANAN TRAFU PLN**

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



Oleh:
Fanoel Thamrin
24010410400021

PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2012

STUDI INFERENSI *FUZZY* TSUKAMOTO UNTUK PENENTUAN FAKTOR PEMBEBANAN TRAFU PLN

ABSTRAK

Semakin berkembangnya teknologi ketenagalistrikan menyebabkan proses pemantauan dan diagnosis pada sistem tenaga listrik menjadi sangat kompleks. Salah satu komponen penting pada sistem tenaga listrik adalah trafo. Gangguan yang terjadi pada trafo dapat mengakibatkan terbakarnya trafo dan juga turunnya kinerja trafo. Oleh karena itu, pemeliharaan dan pendeteksian kerusakan trafo perlu dilakukan secara rutin agar trafo bisa bekerja sesuai dengan masa pemakaian maksimumnya. Permasalahannya adalah jika terjadi kerusakan pada trafo menyebabkan biaya yang cukup besar diperlukan untuk mendatangkan seorang ahli dalam pemeliharaan dan pemeriksaan trafo secara rutin. Berdasarkan permasalahan tersebut maka perlu dikembangkan perangkat lunak dengan kemampuan sama atau mendekati seorang pakar diagnosis trafo dengan ketelitian dan kecepatan tinggi terhadap pemeliharaan pada trafo sebelum terjadi kerusakan.

Studi inferensi *fuzzy* Tsukamoto untuk penentuan faktor pembebanan trafo PLN menghasilkan sebuah perangkat lunak yang dapat digunakan untuk mendeteksi jenis gangguan pada trafo distribusi PT PLN berdasarkan faktor pembebanan trafo, ketidakseimbangan beban, jatuh tegangan dan faktor daya sehingga dapat dilakukan pemeliharaan sesuai dengan jenis kerusakan atau gangguan yang terjadi pada trafo tersebut.

Aplikasi ini dilengkapi dengan fasilitas perhitungan pembebanan trafo, ketidakseimbangan beban pada trafo. Variabel masukan yang digunakan dalam menentukan pembebanan trafo dan ketidakseimbangan beban pada trafo adalah nilai arus tiap fasa pada trafo, nilai tegangan tiap fasa, nilai faktor daya dan kapasitas trafo.

Kata Kunci: Sistem pakar, *Fuzzy* Tsukamoto, Pemeliharaan trafo.

STUDY OF FUZZY TSUKAMOTO INFERENCE FOR LOADING FACTOR PLN TRANSFORMER

ABSTRACT

The growing technology of electrical power makes monitoring and diagnosis on electric power system becomes very complex. One of the strategic components of the power system is the transformer. Disruption of the transformer can cause burning of the transformer and the transformer performance to decrease. Therefore, maintenance and detection of damage to the transformer needs to be done regularly so that the transformer can work within the period of maximum usage. The problem is the substantial costs required to bring an expert in transformer maintenance and inspection on a regular basis, in addition to damage to the transformer which would also lead to large losses. Based on these issues is necessary to develop software with capabilities equal or close to an expert diagnosis of a transformer with high accuracy and speed of maintenance on the transformer before the damage occurred.

Tsukamoto fuzzy inference studies for the determination of the transformer load factor PLN is a software that can be used to detect other types of disturbances in distribution transformers PT PLN so that maintenance can be carried out according to the type of damage or disturbance that occurs in the transformer.

This application is equipped with a transformer load calculation, load imbalance on trafo. Variabel inputs used in determining the load transformer and load imbalance on the transformer rated current of each phase is the transformer, the voltage value of each phase, the value of the power factor and transformer capacity.

Keyword: Expert system, Tsukamoto fuzzy , Transformer.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Semakin berkembangnya teknologi tenaga listrik menyebabkan proses pemantauan dan diagnosis pada sistem tenaga listrik menjadi sangat kompleks. Pemantauan kondisi peralatan tenaga listrik secara *manual* tidak memberikan solusi yang tepat. Kecerdasan buatan memiliki potensi yang besar untuk diaplikasikan pada fungsi sistem tenaga listrik untuk deteksi dan diagnosis gangguan sistem (Mangina, 2005).

Pemantauan kondisi sistem tenaga listrik dengan bantuan kecerdasan buatan merupakan penilaian kondisi peralatan dengan menggunakan sistem komputerisasi dengan teknik kecerdasan buatan berdasarkan klasifikasi data (Mangina, 2000). Bertujuan untuk untuk memprediksi kegagalan peralatan dengan memantau parameter-parameter pada peralatan dan secara ekonomis dapat meningkatkan kinerja peralatan dan penjadwalan pemeliharaan yang tepat sebelum terjadi kerusakan yang fatal. Pemeliharaan peralatan dengan menggunakan data dari proses pemantauan kondisi peralatan yang diekstrak dari korelasi parameter tertentu tidak semuanya dapat ditangani oleh manusia sebagai operator (Jennings dkk, 1993).

Trafo yang merupakan peralatan pokok pada sistem tenaga listrik , selain itu jumlah trafo yang banyak dengan perbedaan jenis dan kapasitas mempersulit perawatan dan pemeriksaan rutin karena perbedaan trafo berakibat perbedaan karakteristik dan masalah yang timbul (Horning dkk, 2004). Gangguan pada trafo dapat mengakibatkan terbakarnya trafo dan juga turunnya kinerja trafo. Oleh karena itu, pemeliharaan dan pendeteksian kerusakan trafo perlu dilakukan secara rutin agar trafo bisa bekerja sesuai dengan masa pemakaian maksimumnya.

Permasalahannya adalah biaya yang cukup besar diperlukan untuk mendatangkan seorang ahli dalam pemeliharaan dan pemeriksaan trafo secara rutin, disamping kerusakan trafo yang juga akan mengakibatkan kerugian yang besar, dimana pada saat ini masalah penghematan energi di antaranya dengan

penghematan biaya operasi dan pembelian aset baru. Mengingat listrik merupakan jenis energi yang sangat vital, maka kesinambungan ketersediaan listrik perlu dijaga setiap saat. Kegagalan suatu komponen akan berakibat pada berhentinya pasokan listrik. Untuk menghindari hal tersebut, pengoperasian dan pemeliharaan sistem kelistrikan harus dilakukan secara tepat.

Fuzzy Tsukamoto merupakan salah satu metode yang sangat fleksibel dan memiliki toleransi pada data yang ada. *Fuzzy Tsukamoto* memiliki kelebihan yaitu lebih intuitif, diterima oleh banyak pihak, lebih cocok untuk masukan yang diterima dari manusia bukan mesin.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka perlu dikembangkan perangkat lunak dengan kemampuan sama atau mendekati seorang pakar diagnosis trafo dengan ketelitian dan kecepatan tinggi terhadap pemeliharaan pada trafo sebelum terjadi kerusakan. Hal-hal yang berkaitan dengan data pemeliharaan merupakan hal yang samar (*fuzzy*) karena banyak kemungkinan pada suatu masalah yang terjadi. Berdasarkan hal tersebut, maka dalam membangun sistem pakar untuk pemeliharaan preventif digunakan logika *fuzzy* yang mampu menangani ketidakjelasan dan ketidakpastian dari berbagai variabel pemeliharaan trafo yang digunakan. Logika *fuzzy* yang digunakan adalah sistem inferensi *fuzzy Tsukamoto* karena metode ini menggunakan aplikasi nilai monoton, *Output* hasil inferensi dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas (*crisp*) berdasarkan α -predikat (*fire strength*). Sistem yang akan dibangun berbasis *web* yang dapat memberikan informasi kepada para teknisi PLN khususnya yang berkecimpung dibidang pemeliharaan trafo distribusi PLN.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan permasalahan yang akan diselesaikan yaitu bagaimana membuat aplikasi sistem pakar dengan menggunakan teknik inferensi logika *fuzzy Tsukamoto* untuk pemeliharaan preventif pada trafo PLN.

1.3. Batasan Masalah

Hal-hal yang dibatasi dalam penelitian ini adalah :

1. Sistem yang akan dibangun berupa aplikasi sistem pakar untuk pemeliharaan preventif trafo berbasis web dengan menggunakan teknik inferensi logika *fuzzy* Tsukamoto.
2. Objek penelitian adalah Trafo distribusi PT PLN Area Pare Pare Sulawesi Selatan.
3. Data yang digunakan untuk pengujian implementasi sistem pakar ini berupa tegangan tiap fasa, arus tiap fasa, kapasitas trafo, faktor daya.
4. Pengujian dilakukan pada trafo distribusi milik PT PLN Area Pare Pare dengan kapasitas trafo mulai dari 160 KVA hingga 315 KVA.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat aplikasi sistem pakar sebagai alat bantu bagi para teknisi PT.PLN dalam melakukan pemeliharaan preventif pada trafo PLN dengan menggunakan teknik inferensi logika *fuzzy* Tsukamoto sehingga dapat dilakukan pemeliharaan sesuai dengan gejala awal gangguan.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

- a. Bagi para teknisi PT. PLN dapat mengetahui solusi pemeliharaan trafo tanpa harus bertanya pada *supervisor* atau pakar trafo terlebih dahulu.
- b. Menjadi referensi bagi kegiatan penelitian yang berhubungan dengan trafo PLN

1.6. Keaslian Penelitian

Beberapa penelitian dengan topik sejenis adalah sebagai berikut:

1. Penelitian yang berjudul Analysis Of Power Transformer Using Fuzzy Expert And Neural Network System, dipublikasikan oleh International Journal of Engineering Research and Applications

- Volume 2. Penelitian yang dilakukan adalah membuat aplikasi sistem pakar pemeliharaan trafo daya dengan menggunakan kombinasi antara metode logika fuzzy dan jaringan saraf tiruan. Perbedaan dengan penelitian ini adalah metode yang digunakan (Kumar dkk, 2012).
2. Penelitian yang berjudul *Expert System For The Assessment Of Power Transformer Insulation Condition Based On Type-2 Fuzzy Logic Systems*, dipublikasikan oleh *Expert System with applications* Volume 38. Penelitian yang dilakukan adalah membuat aplikasi sistem pakar dengan pendekatan kombinasi metode antara analisis uji gas terlarut (*Dissolved Gas Analysis*) dan menilai unjuk kerja transformator dengan menggunakan kombinasi antara metode *dissolved gas analysis* (DGA) dan logika fuzzy type-2 . Perbedaan dengan penelitian ini adalah metode yang digunakan (Flores dkk, 2011).
3. Penelitian yang berjudul *General Asset Management Model In The Context Of An Electric Utility: Application To Power Transformers* , dipublikasikan oleh *Electric Power System Research* Volume 81. Penelitian yang dilakukan adalah Pemodelan Manajemen Aset Pada Perusahaan Listrik dengan menggunakan *Framework Gammeo*. Salah satunya membahas sistem multiagen untuk mendeteksi gangguan pada trafo dengan menggunakan kerangka kerja AIOMS (*Automatic and intelligent on-line monitoring system*). Perbedaan dengan penelitian ini adalah metode kecerdasan buatan yang digunakan pada AIOMS menggunakan jaringan saraf tiruan dan berbasis multiagen (Contreras dkk, 2011).
4. Publikasi yang berjudul “*Method for effects evaluation of some forms of power transformers preventive maintenance*” menjelaskan bahwa tujuan atau sasaran yang ingin dicapai dengan melakukan pemeliharaan preventif pada trafo daya adalah untuk meminimalisasi kerusakan peralatan, memperkecil biaya kerusakan peralatan. Untuk menjaga agar kinerja trafo tenaga tetap andal, diperlukan adanya sebuah pemeliharaan rutin. Pemeliharaan rutin ini dapat mendeteksi kerusakan

atau kegagalan yang akan terjadi pada trafo secara dini, sehingga dapat dilakukan pencegahan kerusakan trafo tersebut secara dini. Perbedaan dengan penelitian ini adalah metode dan objek yang digunakan (Mijailovic, 2008).

5. Penelitian yang berjudul *Adaptive Mamdani Fuzzy Model For Condition-Based Maintenance* dipublikasikan oleh Fuzzy Sets and Systems Volume 158. Penelitian yang dilakukan adalah melakukan pemeliharaan terhadap peralatan pada industri manufaktur dengan menerapkan model pemeliharaan *Condition-Based* atau pemeliharaan preventif. Perbedaan dengan penelitian ini adalah metode dan objek yang digunakan (Kothamasu dkk, 2007).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Trafo daya merupakan peralatan utama pada sistem penyaluran tenaga listrik. Salah satu bagian paling kritis dari trafo daya adalah isolasi trafo, dimana seiring dengan usia operasi trafo maka kondisi isolasi trafo dapat mengalami pemburukan, hal ini disebabkan oleh tegangan lebih, suhu operasi yang tinggi, kontaminasi, kerusakan mekanis maupun kelembapan. Pemburukan atau kegagalan isolasi dapat menyebabkan kegagalan operasi atau bahkan kerusakan trafo, oleh karena itu sangat diperlukan untuk mengetahui proses pemburukan pada isolasi sehingga kegagalan trafo dalam beroperasi dapat dihindarkan (Kumar dkk, 2012).

Permasalahan yang umum pada operasional trafo daya adalah timbulnya kegagalan (*failure*), baik kegagalan termal maupun kegagalan elektris. Kegagalan termal dan kegagalan elektris umumnya menghasilkan gas-gas berbahaya yang biasa dikenal sebagai *fault* gas. Kebanyakan trafo daya biasanya menggunakan minyak isolator yang fungsinya selain sebagai pendingin juga untuk melarutkan gas-gas berbahaya tersebut agar tidak beredar bebas. Mengidentifikasi jenis dan jumlah konsentrasi gas yang terlarut pada minyak dapat memberikan informasi akan adanya indikasi kegagalan yang terjadi pada trafo. Metode untuk mengidentifikasi dan menganalisis gas-gas terlarut pada minyak disebut sebagai metode DGA (Dissolved Gas Analysis). Dalam beberapa kasus analisa jenis kegagalan trafo daya yang selama ini menggunakan metode interpretasi uji DGA yaitu *roger's ratio*, *Doernenburg's*, metode IEC 60599 dan *National Standard* (MSZ-09-00.0352) seringkali gagal dalam memberikan diagnosis yang tepat, dimana hal ini disebabkan oleh jenis kerusakan / kegagalan pada trafo jumlahnya bisa lebih dari satu. Berdasarkan permasalahan tersebut maka penggunaan kombinasi metode logika *Fuzzy* dan jaringan saraf tiruan diharapkan mampu

mengatasi permasalahan jenis kegagalan pada trafo daya yang jumlahnya lebih dari satu.

Seringnya trafo mengalami kerusakan akibat beban yang berlebihan memerlukan perhatian khusus untuk mengetahui penyebab dan melakukan tindak lanjut agar tidak semakin banyak trafo yang rusak. Dengan semakin meningkatnya kebutuhan akan energi listrik maka penyedia jasa ketenagalistrikan harus menemukan metode baru dan strategi khusus dalam mengatasi kerusakan peralatan tenaga listrik yang merupakan aset terpenting dalam sistem tenaga listrik. Contreras dkk melakukan penelitian perawatan sistem tenaga listrik dengan menggunakan *enterprise resource system* sebagai alat bantu dalam mengatasi masalah perawatan komponen-komponen sistem tenaga listrik dengan mengintegrasikan setiap subsistem tenaga listrik menjadi satu sistem yang saling berkaitan satu sama lain dan saling mendukung. Dengan memaksimalkan fungsi pemeliharaan untuk meminimumkan biaya penggantian komponen kelistrikan menggunakan kerangka kerja *GAMMEO*. Variabel Masukan dari kerangka kerja *GAMMEO* berupa kondisi pemantauan peralatan sistem tenaga listrik untuk mendiagnosis dan melakukan deteksi dini terhadap kemungkinan gangguan dan kerusakan yang terjadi pada komponen tersebut (Contreras dkk, 2011).

Pemantauan kondisi trafo merupakan hal yang sangat penting untuk dilakukan dikarenakan trafo merupakan komponen terpenting pada sistem tenaga listrik. Pemantauan dan perawatan trafo khususnya penilaian kondisi minyak trafo sebagai bahan isolasi dan media pendingin trafo selama ini menggunakan metode perbandingan gas berdasarkan standar IEC 60599. Namun hasil analisa metode perbandingan gas ini harus dilakukan oleh para pakar dibidang trafo tenaga. Dimana jumlah pakar trafo daya jumlahnya sangat sedikit. Berdasarkan hal tersebut maka dikembangkan aplikasi sistem pakar dengan menggunakan pengetahuan para pakar dibidang trafo daya untuk menganalisis hasil uji gas terlarut pada minyak trafo. Penerapan metode *Fuzzy Logic System* digunakan pada sistem pakar untuk menganalisa uji gas terlarut pada minyak trafo untuk memecahkan persoalan tersebut (Flores dkk, 2011)

Tujuan atau sasaran yang ingin dicapai dengan melakukan pemeliharaan preventif pada trafo daya adalah untuk meminimalisasi kerusakan peralatan, memperkecil biaya kerusakan peralatan. Untuk menjaga agar kinerja transformator tenaga tetap andal, diperlukan adanya sebuah pemeliharaan rutin. Pemeliharaan rutin ini dapat mendeteksi kerusakan atau kegagalan yang akan terjadi pada trafo secara dini, sehingga dapat dilakukan pencegahan kerusakan trafo tersebut secara dini. Pemeliharaan preventif ini dapat dilakukan selama trafo beroperasi maupun saat trafo sedang dilakukan pemeriksaan berkala (*overhaul*) (Mijailovic, 2008).

Kegagalan suatu komponen merupakan akibat dari suatu proses penuaan material yang berjalan dengan waktu. Proses degradasi ini tidak dapat dihindari, namun dapat dikendalikan melalui kegiatan pemeliharaan yang tepat. Dewasa ini dikenal empat model pemeliharaan: *breakdown maintenance*, pemeliharaan preventif, pemeliharaan prediktif dan pemeliharaan proaktif. Dalam filosofi *breakdown maintenance*, perbaikan dilakukan setelah mengalami kerusakan. Dalam hal ini kegagalan atau kecelakaan sudah terlanjur terjadi. Biaya yang diakibatkan cenderung mahal dan bisa berdampak *domino* pada sektor lain seperti hilangnya kepercayaan masyarakat. Sedangkan, pemeliharaan secara preventif mengacu pada penggantian komponen sesuai perkiraan waktu umur. Strategi seperti ini diperkirakan dapat menghemat biaya sekitar 75% dibanding *breakdown maintenance*. Pemeliharaan berbasis kondisi merupakan bentuk pemeliharaan peralatan pada industri manufaktur dengan pendekatan metode logika *Fuzzy Mamdani* diharapkan dapat menghasilkan aplikasi sistem pemeliharaan berbasis kondisi yang efektif (Kothamasu dkk, 2007).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Kecerdasan Buatan

Kecerdasan Buatan atau *Artificial Intelligence* merupakan bagian dari ilmu komputer yang digunakan untuk menciptakan perangkat lunak dan perangkat keras dengan tujuan untuk menghasilkan sesuatu seperti yang dihasilkan oleh manusia. Kecerdasan diciptakan dan dimasukkan ke dalam suatu mesin

(komputer) agar dapat melakukan pekerjaan seperti yang dapat dilakukan manusia. Kecerdasan buatan ini merupakan cabang dari ilmu komputer yang *concerned* dengan pengotomatisasi tingkah laku cerdas (Turban dkk, 2005). Karena itu kecerdasan buatan harus didasarkan pada prinsip-prinsip teoretikal dan terapan yang menyangkut struktur data yang digunakan dalam representasi pengetahuan (*knowledge representation*), algoritma yang diperlukan dalam penerapan pengetahuan itu, serta bahasa dan teknik pemrograman yang dipakai dalam implementasinya. Pada awal diciptakannya, komputer hanya difungsikan sebagai alat hitung saja. Namun seiring dengan perkembangan jaman, maka peran komputer semakin mendominasi kehidupan umat manusia. Komputer tidak lagi hanya digunakan sebagai alat hitung, lebih dari itu, komputer diharapkan untuk dapat diberdayakan untuk mengerjakan segala sesuatu yang bisa dikerjakan oleh manusia.

2.2.2 Sistem Pakar

Sistem pakar adalah perangkat lunak komputer yang menggunakan pengetahuan (aturan-aturan tentang sifat dari suatu unsur masalah), fakta dan teknik inferensi untuk masalah yang biasanya membutuhkan kemampuan seorang ahli (Marimin, 2005). Pengetahuan yang digunakan dalam sistem pakar terdiri dari akidah-kaidah (*rules*) atau informasi dari pengalaman tentang tingkah laku suatu unsur dari suatu gugus persoalan. Kaidah-kaidah biasanya memberikan deskripsi tentang kondisi yang diikuti oleh akibat dari prasyarat tersebut.

Tujuan perancangan sistem pakar adalah untuk mempermudah kerja atau bahkan menggantikan tenaga ahli, penggabungan ilmu dan pengalaman dari beberapa tenaga ahli, *training* tenaga ahli baru, penyediaan keahlian yang diperlukan oleh suatu proyek yang tidak ada atau tidak mampu membayar tenaga ahli. Hal tersebut dapat dipahami secara rasional, karena kaderisasi tenaga ahli dalam suatu organisasi sangat diperlukan, terutama untuk badan usaha yang mempunyai keterbatasan dana untuk menyediakan tenaga ahli.

Penggabungan ilmu dan pengalaman para tenaga ahli bukan merupakan pekerjaan yang mudah, khususnya untuk tenaga ahli bukan merupakan pekerjaan yang mudah, khususnya untuk tenaga ahli yang berbeda bidang keahliannya. Dalam hal ini sistem pakar direncanakan untuk menyimpan dan menggunakan ilmu serta pengalaman dari satu atau beberapa tenaga ahli. Untuk itu suatu sistem pakar yang mempunyai kapasitas besar diperkirakan mampu memecahkan suatu persoalan yang tidak dapat dipecahkan oleh satu atau sekelompok kecil tenaga ahli.

Blok diagram sistem pakar bisa dilihat pada gambar 2.1. Pada gambar tersebut menjelaskan bahwa sistem pakar juga dapat dilihat dari sudut pandang lingkungan (*environment*) dalam sistem. Terdapat dua lingkungan yaitu lingkungan konsultasi dan lingkungan pengembangan. Lingkungan konsultasi diperuntukkan bagi pengguna non pakar untuk melakukan konsultasi dengan sistem yang tujuannya adalah mendapatkan nasehat pakar. Sedangkan lingkungan pengembangan ditujukan bagi pembangun sistem pakar untuk membangun komponen dan memasukkan pengetahuan hasil akuisisi pengetahuan ke dalam basis pengetahuan.

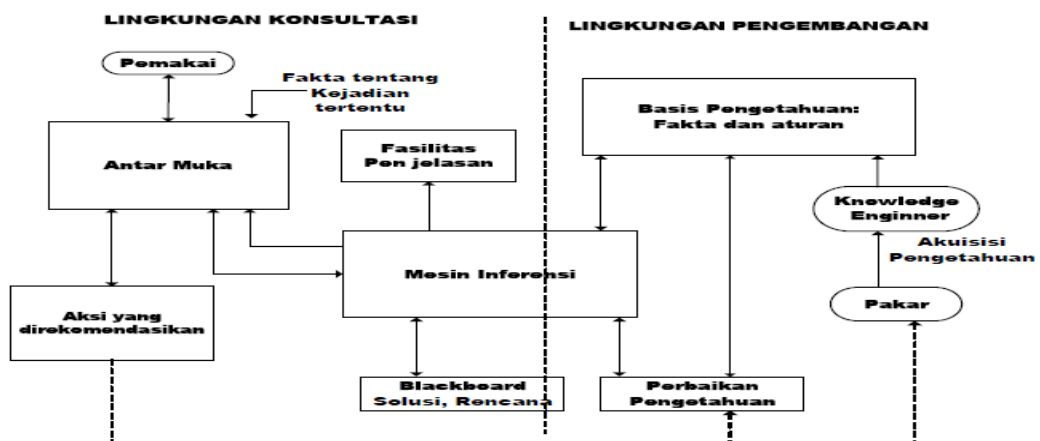
Hasil pemrosesan yang dilakukan oleh mesin inferensi dari sudut pandang pengguna non pakar berupa aksi/konklusi yang di rekomendasikan oleh sistem pakar atau dapat juga berupa penjelasan jika memang dibutuhkan oleh pengguna. Dari sudut pandang pembangun sistem dalam lingkungan pengembangan, mesin inferensi terdiri dari 3 elemen penting, yaitu (Hartati dan Iswanti, 2008) :

1. *Interpreter*, elemen ini mengeksekusi item-item agenda yang terpilih dengan menggunakan kaidah basis pengetahuan yang bersesuaian.
2. *Scheduler*, elemen ini mengelola pengontrolan terhadap agenda. Penjadwalan memperkirakan pengaruh-pengaruh dari pengguna kaidah inferensi pada prioritas-prioritas item atau criteria lain pada agenda.

3. Pelaksana konsistensi/ *consistency enforcer*, elemen ini berusaha untuk mengelola penyajian solusi secara konsisten.

Blackboard adalah memori kerja yang digunakan untuk menyimpan kondisi/keadaan yang dialami oleh pengguna dan juga hipotesa serta keputusan sementara. Untuk meningkatkan kemampuan sistem pakar, pada sistem tersebut harus dilakukan proses updating pada *knowledge base* dan penyempurnaan pada *inference engine* sehingga solusi yang dihasilkan lebih baik daripada sebelumnya.

Inference engine merupakan prosesor dalam sistem pakar yang mencocokkan fakta dalam memori aktif dengan domain *knowledge* yang terdapat *knowledge base* untuk menghasilkan solusi dari suatu masalah. Sedangkan cara penyusunan *knowledge base* dalam sistem agar dapat memecahkan masalah serupa dengan seorang pakar disebut dengan penyajian *knowledge*.



Gambar 2.1 Arsitektur sistem pakar (Turban dkk, 2005).

2.2.3 Rule

Rule adalah sebuah struktur *knowledge* yang menghubungkan beberapa informasi yang sudah diketahui ke informasi lain sehingga dapat disimpulkan. Sebuah rule adalah sebuah bentuk *knowledge* yang procedural. Dengan demikian yang dimaksud dengan sistem pakar berbasis rule adalah sebuah program computer untuk memproses masalah dari informasi spesifik yang terdapat dalam memori aktif dengan sebuah set dari *rule* dalam *knowledge base*, dengan menggunakan *inference engine* untuk menghasilkan informasi baru.

Struktur rule secara logika menghubungkan satu atau lebih antaseden (juga disebut premis) yang terletak dalam bagian **IF** dengan satu atau lebih konsekuen (juga disebut konklusi) yang terletak dalam bagian **THEN**. Secara umum, sebuah rule dapat mempunyai premis jamak dihubungkan dengan pernyataan **AND** (konjungsi) pernyataan **OR** (disjungsi) atau kombinasi dari keduanya.

Dalam sistem pakar berbasis aturan domain *knowledge* ditampung dalam sebuah set dari *rules* dan dimasukkan dalam basis sistem pengetahuan. Sistem menggunakan aturan ini dengan informasi selama berada dalam memori aktif untuk memecahkan masalah. Sistem pakar berbasis aturan mempunyai arsitektur yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. *User interface*

Digunakan sebagai media oleh user untuk melihat dan berinteraksi dengan sistem.

2. *Developer interface*

Media yang digunakan untuk mengembangkan sistem oleh engineer.

3. Fasilitas penjelasan

Sub sistem yang berfungsi untuk menyediakan penjelesan dalam sistem reasoning.

4. Program eksternal

Program seperti basis data, *spreadsheet*, yang bekerja dalam mendukung keseluruhan sistem.

2.2.4 Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* didasarkan pada logika *Boolean* yang umum digunakan dalam komputasi. Secara ringkas, teorema *fuzzy* memungkinkan komputer “berpikir” tidak hanya dalam skala hitam-putih (0 dan 1, mati atau hidup) tetapi juga dalam skala abu-abu. Dalam Logika *Fuzzy* suatu preposisi dapat direpresentasikan dalam derajat kebenaran (*truthfulness*) atau kesalahan (*falsehood*) tertentu.

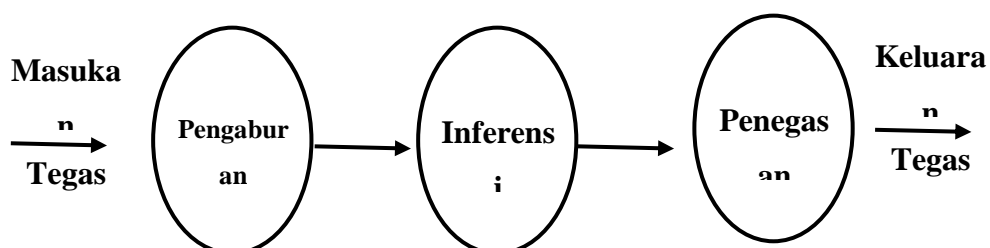
Pada sistem diagnosis *fuzzy* peranan manusia/operator lebih dominan. Pengiriman data dilaksanakan oleh operator ke dalam sistem. Ketika sistem

memerlukan data tambahan. Selain itu operator dapat meminta atau menanyakan informasi dari sistem diagnosis berupa hasil konklusi 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 *inference* (logika keputusan).

Banyak sistem yang terlalu kompleks untuk dimodelkan secara akurat, meskipun dengan persamaan matematis yang kompleks. Dalam kasus seperti itu, ungkapan bahasa yang digunakan dalam logika kabur dapat membantu mendefinisikan karakteristik operasional sistem dengan lebih baik. Ungkapan bahasa untuk karakteristik sistem biasanya dinyatakan dalam bentuk implikasi logika. Misalnya aturan **If - Then**.

Penerapan logika *fuzzy* dapat meningkatkan kinerja sistem kendali dengan menekan munculnya fungsi-fungsi liar pada keluaran yang disebabkan oleh fluktuasi pada variabel masukannya. Pendekatan logika *fuzzy* secara garis besar diimplementasikan dalam tiga tahapan yang dapat dilihat atas :

1. Tahap pengaburan (*fuzzification*) yakni pemetaan dari masukan tegas ke himpunan kabur.
2. Tahap *inferensi*, yakni pembangkitan aturan kabur.
3. Tahap penegasan (*defuzzification*), yakni tranformasi keluaran dari nilai kabur ke nilai tegas.



Gambar 2.2 Tahapan proses dalam logika kabur (Kurniawan, 2004)

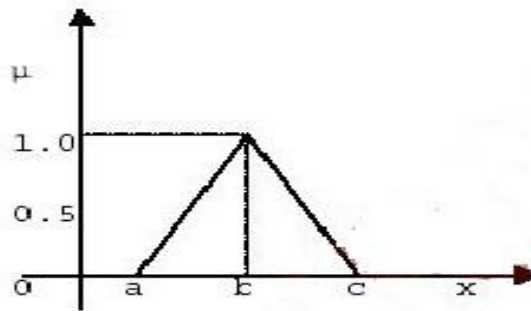
2.2.5 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan (*member function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval 0 sampai

1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah menggunakan pendekatan fungsi (Kusumumadewi dan Purnomo, 2010).

2.2.5.1 Fungsi keanggotaan Segitiga

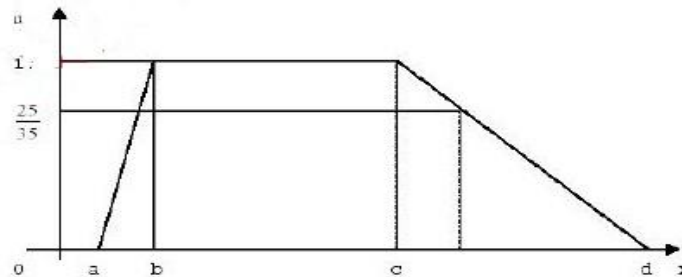
Fungsi keanggotaan yang mempunyai parameter a,b,c dengan formulasi segitiga $(x;a,b,c) = \max\{\min\{(x-a)/(b-a),(c-x)/(c-b)\},0\}$



Gambar 2.3 Fungsi Keanggotaan Segitiga (Kusumumadewi dan Purnomo, 2010)

2.2.5.2 Fungsi keanggotaan Trapesium

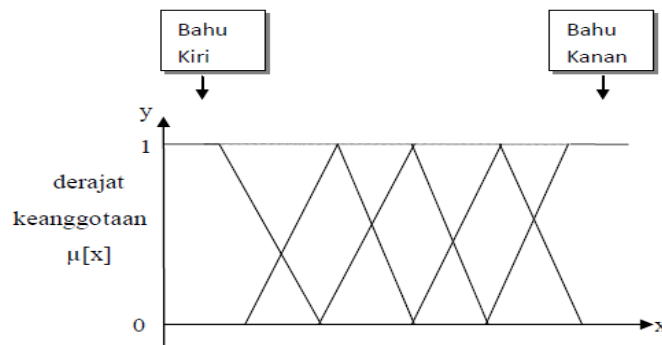
Fungsi keanggotaan yang mempunyai parameter a,b,c,d dengan formulasi Trapesium $(x;a,b,c,d) = \max\{\min\{(x-a)/(b-a),1,(d-x)/(d-c)\},0\}$



Gambar 2.4 Fungsi Keanggotaan Trapesium (Kusumumadewi dan Purnomo, 2010)

2.2.5.3 Fungsi keanggotaan Kurva Bahu

Daerah yang terletak di tengah-tengah suatu variabel yang direpresentasikan dalam bentuk segitiga, pada sisi kanan dan kirinya akan naik dan turun. Himpunan *fuzzy* ‘bahu’, bukan segitiga, digunakan untuk mengakhiri variabel suatu daerah *fuzzy*. Bahu kiri bergerak dari benar ke salah, demikian juga bahu kanan bergerak dari salah ke benar.



Gambar 2.5 Fungsi Keanggotaan Kurva Bahu (Kusumumadewi dan Purnomo, 2010)

2.2.6 Variabel Linguistik

Variabel Linguistik adalah variabel yang bernilai kata/kalimat, bukan angka. Variabel linguistik ini merupakan konsep penting dalam logika samar dan memegang peranan penting dalam beberapa aplikasi. Jika “kecepatan” adalah variabel linguistik, maka nilai linguistik untuk variabel kecepatan adalah, misalnya “lambat”, “sedang”, “cepat”. Hal ini sesuai dengan kebiasaan manusia sehari-hari dalam menilai sesuatu, misalnya : “Ia mengendarai mobil dengan cepat, tanpa memberikan nilai berapa kecepatannya.” Konsep tentang variabel linguistik ini diperkenalkan oleh Lofti Zadeh. Dalam variabel linguistik ini menurut Zadeh dikarakteristikkan dengan:

$$(X, T(x), U, G, M)$$

Dimana:

X = nama variabel (variabel linguistik)

T(x) atau T=semesta pembicaraan untuk x atau disebut juga nilai linguistik dari x

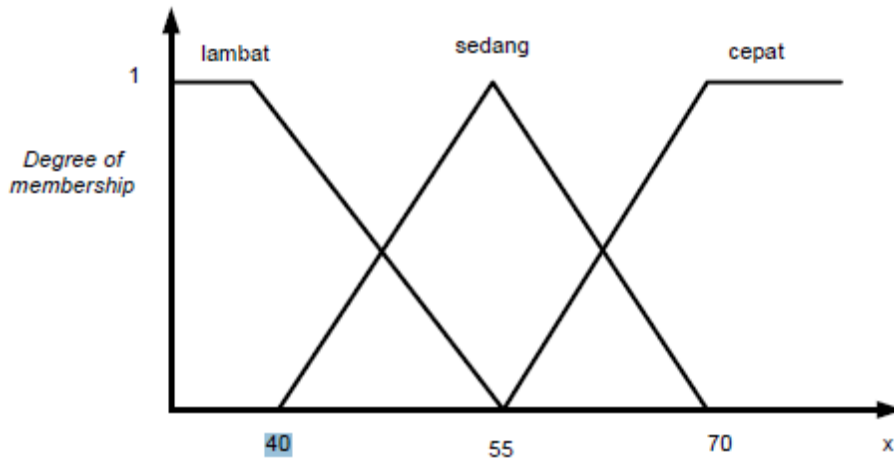
U = jangkauan dari setiap samar untuk x yang berhubungan dengan variabel dasar yaitu U

G = Aturan sintaksis untuk memberikan nama (x) pada setiap nilai X

M = aturan semantik yang menghubungkan setiap X dengan artinya.

Sebagai contoh, jika: X = “kecepatan, dengan U[0,100] dan T(kecepatan) = (lambat, sedang, cepat) Maka M setiap X, adalah M(lambat), dan M(sedang), M(cepat). Dimana: M (lambat) = himpunan samarnya “kecepatan di bawah 40 mph” dengan fungsi keanggotaan m sedang. M (cepat) = himpunan samarnya

“kecepatan di atas 70 mph” dengan fungsi keanggotaan m cepat. Gambar grafik fungsi keanggotaannya sebagai berikut:



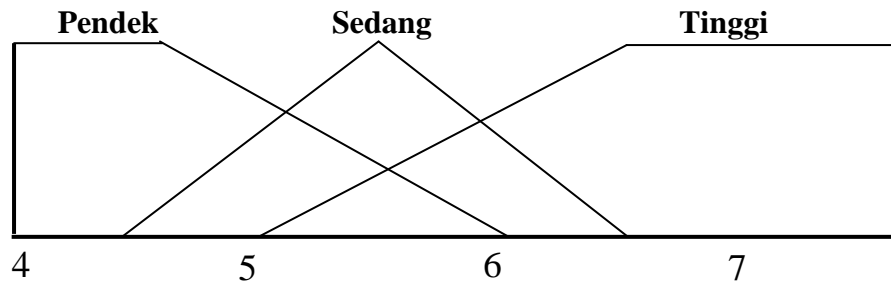
Gambar 2.6 Fungsi Keanggotaan Kecepatan (Kurniawan, 2004)

2.2.7 Himpunan *Fuzzy*

Untuk mempresentasikan himpunan *fuzzy* dalam komputer perlu didefinisikan fungsi keanggotaannya. Sebagai contoh orang tinggi dapat dinyatakan pada setiap individu pada tingkatan mana bahwa seseorang yakin seseorang itu dikatakan tinggi. Setelah mengumpulkan jawaban untuk interval tinggi badan dapat disajikan tingkat rata-rata untuk menghasilkan suatu himpunan *fuzzy* dari orang-orang tinggi. Fungsi ini dapat digunakan sebagai suatu keyakinan (nilai keanggotaan) bagi individu yang menjadi anggota himpunan *fuzzy* dari orang tinggi. Pemilihan ini dapat dilanjutkan untuk menghitung gambaran ukuran tinggi yang lain seperti pendek dan sedang. Dalam peragaan ini dapat diperoleh himpunan *fuzzy* yang menggambarkan pendapat paling populer dari kebanyakan orang untuk setiap klasifikasi. Ketika didefinisikan perkalian himpunan *fuzzy* pada semesta pembicaraan yang sama, literatur sering menunjuk pada himpunan *fuzzy* sebagai *fuzzy subset*.

Dengan membentuk *fuzzy* ini untuk berbagai bentuk *fuzzy* dapat dianggap nilai keanggotaan dari obyek yang diberikan pada setiap himpunan. Pada gambar 2.7 tinggi individual 5,5 feet adalah anggota orang-orang medium dengan nilai keanggotaan 1 dan pada saat yang sama juga sebagai anggota dari orang-orang

pendek dan orang-orang tinggi dengan nilai keanggotaan 0,25. Suatu hal yang menarik yaitu sebuah obyek yang tunggal diproyeksikan ke anggota *multiple* himpunan.



Gambar 2.7 Himpunan *Fuzzy* pada contoh tinggi badan (Kurniawan, 2004)

Asumsikan x adalah semesta pembicaraan dan sebuah himpunan *fuzzy* didefinisikan padanya. Selanjutnya asumsikan sebuah himpunan diskrit elemen x $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$. Himpunan *fuzzy* A mendefinisikan fungsi keanggotaan $\mu_A(x)$ yang memetakan x_i dari x ke anggota dalam $[0,1]$. Untuk himpunan elemen-elemen diskrit cara yang tepat untuk mempresentasikan himpunan *fuzzy* dengan menggunakan vektor :

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_n) \tag{1}$$

Dengan : $A_i = \mu_A(x_i)$

Notasi himpunan *fuzzy* standar mempresentasikan *union* dari dimensi-dimensi vektor sebagai berikut : dengan “+” mempresentasikan notasi *Boolean* untuk *union* :

$$A = \frac{\mu_1}{x_1} + \frac{\mu_2}{x_2} + \dots + \frac{\mu_n}{x_n} \tag{2}$$

$$A = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{x_i}$$

2.2.8 Fuzzifikasi

Fuzzyfikasi adalah fase pertama dari perhitungan *fuzzy* yaitu perubahan nilai tegas ke nilai *fuzzy*. Proses *fuzzyfikasi* dituliskan sebagai berikut :

$$x = \text{fuzzifier}(x_0) \tag{3}$$

dengan x_0 adalah sebuah vektor nilai tegas dari suatu variabel masukan, x adalah vektor himpunan *fuzzy* yang didefinisikan sebagai variabel dan *fuzzifier* adalah sebuah operator *fuzzyfikasi* yang mengubah nilai tegas ke himpunan *fuzzy*.

2.2.9 Defuzzifikasi (*Defuzzification*)

Defuzzifikasi merupakan transformasi yang menyatakan kembali keluaran dari domain *fuzzy* ke dalam domain *crisp*. Keluaran *fuzzy* diperoleh melalui eksekusi dari beberapa fungsi keanggotaan *fuzzy*. Terdapat tujuh metode yang dapat digunakan pada proses defuzzifikasi (Ross, 1995) yaitu : 1) *Height method (Max-membership principle)*, dengan mengambil nilai fungsi keanggotaan terbesar dari keluaran *fuzzy* yang ada untuk dijadikan sebagai nilai defuzzifikasi, 2) *Centroid (Center of Gravity) method*, mengambil nilai tengah dari seluruh fungsi keanggotaan keluaran *fuzzy* yang ada untuk dijadikan nilai defuzzifikasi, 3) *Weighted Average Method*, hanya dapat digunakan jika keluaran fungsi keanggotaan dari beberapa proses *fuzzy* mempunyai bentuk yang sama, 4) *Mean-max membership*, mempunyai prinsip kerja yang sama dengan metode maximum tetapi lokasi dari fungsi keanggotaan maksimum tidak harus unik, 5) *Center of sums*, mempunyai prinsip kerja yang hampir sama dengan *Weighted Average Method* tetapi nilai yang dihasilkan merupakan area respektif dari fungsi keanggotaan yang ada, 6) *Center of largest area*, hanya digunakan jika keluaran *fuzzy* mempunyai sedikitnya dua sub-daerah yang *convex* sehingga sub-daerah yang digunakan sebagai nilai defuzzifikasi adalah daerah yang terluas, 7) *First (or last) of maxima*, menggunakan seluruh keluaran dari fungsi keanggotaan.

2.2.10 Aturan IF - THEN

Dari data dan penjelasan parameter-parameter fungsi keanggotaan sebagaimana diatas, kemudian dapat dibuat aturan **IF – THEN**. Basis aturan dibentuk dalam 2 bagian yaitu bagian parameter *block* yang digunakan menyimpan nilai-nilai parameter dari suatu aturan dan bagian lainnya adalah *rules block* yang digunakan menyimpan aturan itu sendiri.

Jumlah aturan **IF – THEN** yang dihasilkan merupakan perkalian \sum kemungkinan gejala-gejalanya (premis), yang kemudian dikurangi jumlah aturan yang dapat direduksi.

2.2.11 Metode Tsukamoto

Pada dasarnya, metode Tsukamoto mengaplikasikan penalaran monoton pada setiap aturannya. Kalau pada penalaran monoton, sistem hanya memiliki satu aturan, pada metode Tsukamoto, sistem terdiri atas beberapa aturan. Karena menggunakan konsep dasar penalaran monoton, pada metode Tsukamoto, setiap konsekuen pada aturan yang berbentuk IF-THEN harus direpresentasikan dengan suatu himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang monoton. *Output* hasil inferensi dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas (*crisp*) berdasarkan α -predikat (*fire strength*). Proses agregasi antar aturan dilakukan, dan hasil akhirnya diperoleh dengan menggunakan *defuzzy* dengan konsep rata-rata terbobot.

Misalkan ada variabel masukan , yaitu x dan y, serta satu variabel keluaran yaitu z. Variabel x terbagi atas 2 himpunan yaitu A_1 dan A_2 , variabel y terbagi atas 2 himpunan juga, yaitu B_1 dan B_2 , sedangkan variabel keluaran Z terbagi atas 2 himpunan yaitu C_1 dan C_2 . Tentu saja himpunan C_1 dan C_2 harus merupakan himpunan yang bersifat monoton. Diberikan 2 aturan sebagai berikut:

IF x is A_1 **and** y is B_2 **THEN** z is C_1

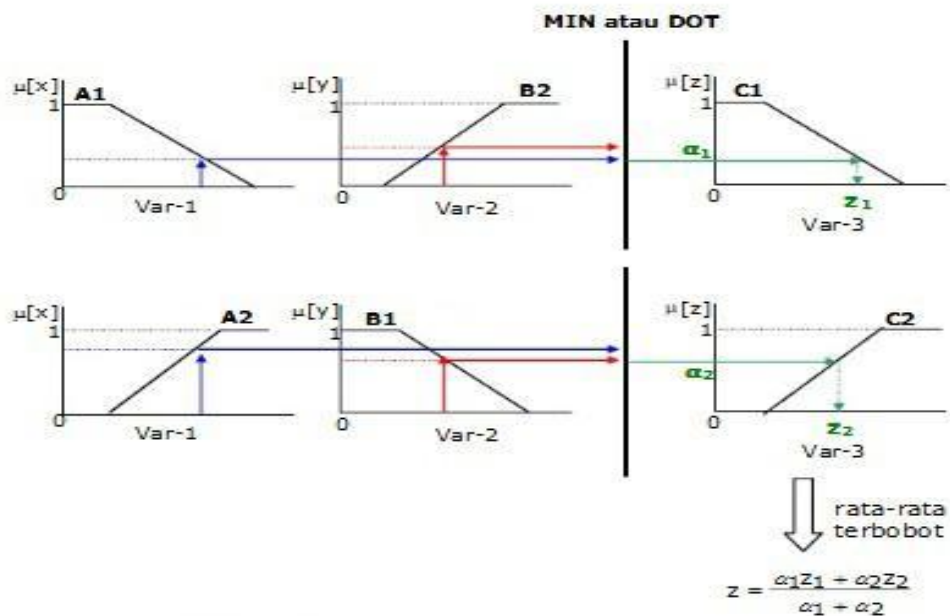
IF x is A_2 **and** y is B_1 **THEN** z is C_2

α -predikat untuk aturan pertama dan kedua, masing-masing adalah a_1 dan a_2 . dengan menggunakan penalaran monoton, diperoleh nilai Z_1 pada aturan pertama, dan Z_2 pada aturan kedua. Terakhir dengan menggunakan aturan terbobot, diperoleh hasil akhir dengan formula sebagai berikut:

$$Z = \frac{\alpha_1 Z_1 + \alpha_2 Z_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

(4)

Diagram blok proses inferensi dengan metode Tsukamoto (Jang, 1997) dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Inferensi dengan menggunakan metode Tsukamoto (Jang,1997).

2.2.12 Trafo

Trafo atau transformator merupakan suatu alat listrik yang termasuk ke dalam klasifikasi mesin listrik statis yang berfungsi menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah dan sebaliknya. Atau dapat juga diartikan mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi-elektromagnet. Trafo terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Trafo digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan trafo dalam sistem tenaga listrik memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan, misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh (Zuhal, 2005).

2.2.13 Trafo Distribusi

Trafo Distribusi adalah trafo yang digunakan untuk menurunkan tegangan menengah (11,6/ 20) KV menjadi tegangan rendah (220/380) V. Trafo ini tersebar luas di lingkungan masyarakat dan mudah dikenali karena biasa dicantol ditiang. Oleh karena itu biasa juga disebut dengan gardu cantol. Trafo distribusi yang umum digunakan adalah trafo *step-down* 20 KV / 400 V, dimana tegangan fasa ke fasa sistem jaringan tegangan rendah adalah 380 V (Zuhail, 2005). Trafo distribusi merupakan suatu komponen yang sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik dari gardu distribusi ke konsumen. Kerusakan pada Trafo distribusi menyebabkan kontinuitas pelayanan terhadap konsumen akan terganggu (terjadi pemutusan aliran listrik atau pemadaman). Pemadaman merupakan suatu kerugian yang menyebabkan biaya-biaya pembangkitan akan meningkat tergantung harga *KiloWattHour (KWH)* yang tidak terjual. Trafo distribusi dapat dipasang diluar ruangan (pemasangan diluar) dan dapat dipasang diruangan (pemasangan dalam) tergantung kepada keadaan lokasi beban.

Pemeliharaan merupakan salah satu komponen yang secara langsung mendukung keandalan, daya mampu serta mutu produksi dari suatu peralatan. Pemeliharaan tidak saja merupakan pekerjaan fisik yang langsung terhadap peralatan yang bersangkutan, tetapi diperlukan suatu perencanaan yang baik dan pengawasan terhadap pelaksanaannya, sehingga dengan demikian pemeliharaan akan dapat dilakukan dengan teratur dan sesuai dengan ketentuan-ketentuan, petunjuk-petunjuk yang berlaku terhadap peralatan yang bersangkutan.

2.2.13 Komponen-Komponen Utama Trafo

Komponen utama trafo terdiri dari bagian-bagian diantaranya: inti besi, kumparan trafo, minyak trafo, bushing, tangki konservator, peralatan bantu pendinginan trafo, tap changer dan alat pernapasan (*dehydrating breather*) (Solikhudin, 2010).

1. Inti Besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan – lempengan besi tipis

yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi – rugi besi) yang ditimbulkan oleh arus eddy (*Eddy Current*).

2. Kumparan Trafo

Kumparan Trafo Terdiri dari beberapa lilitan berisolasi yang membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan isolasi padat seperti karton, pertinax. Umumnya pada trafo terdapat kumparan primer dan sekunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/arus bolak – balik maka pada kumparan tersebut timbul fluksi. Fluksi ini akan menginduksikan tegangan, dan bila pada rangkaian sekunder ditutup (bila ada rangkaian beban) maka akan menghasilkan arus pada kumparan ini. Jadi kumparan sebagai alat transformasi tegangan dan arus.

3. Minyak Trafo

Minyak trafo disini berfungsi sebagai pengisolasi (isolator) dan pendingin. Minyak sebagai isolator berfungsi mengisolasi kumparan di dalam trafo supaya tidak terjadi loncatan bunga api listrik akibat tegangan tinggi. Minyak sebagai pendingin berfungsi mengambil panas yang ditimbulkan saat trafo berbeban lalu melepaskannya dan melindungi komponen di dalamnya terhadap oksidasi dan korosi.

4. Bushing

Hubungan antara trafo ke jaringan luar melalui sebuah *bushing* yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki trafo.

5. Tangki dan Konservator

Pada umumnya bagian – bagian trafo yang terendam minyak trafo ditempatkan di dalam tangki. Untuk menampung pemuaiian minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator.

2.2.14 Jenis – jenis Pemeliharaan Trafo

Pemeliharaan dibagi menjadi beberapa jenis (Solikhudin, 2010), sebagai berikut :

a. Pemeliharaan preventif (*Time base maintenance*)

Pemeliharaan preventif adalah kegiatan pemeliharaan yang dilaksanakan untuk mencegah terjadinya kerusakan secara tiba-tiba dan untuk mempertahankan unjuk kerja peralatan yang optimum sesuai umur teknisnya.

b. Pemeliharaan Prediktif (*Conditional maintenance*)

Pemeliharaan prediktif adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan cara memprediksi kondisi suatu peralatan listrik, apakah dan kapan kemungkinannya peralatan listrik tersebut menuju kegagalan

c. Pemeliharaan korektif (*Corective maintenance*)

Pemeliharaan korektif adalah pemeliharaan yang dilakukan secara terencana ketika peralatan listrik mengalami kelainan atau unjuk kerja rendah pada saat menjalankan fungsinya dengan tujuan untuk mengembalikan pada kondisi semula disertai perbaikan dan penyempurnaan instalasi

d. Pemeliharaan darurat (*Breakdown maintenance*)

Pemeliharaan darurat adalah pemeliharaan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan mendadak yang waktunya tidak tertentu dan sifatnya terurai

2.2.15 Penyebab Gangguan Trafo

Pemeliharaan trafo distribusi bertujuan untuk mencegah kerusakan dan mengembalikan kepada keadaan yang normal dengan tetap memperhatikan faktor-faktor ekonomis. Ada beberapa gangguan/kegagalan pada trafo yang dapat menurunkan kinerja trafo sehingga perlu dilakukan pemeliharaan preventif untuk mencegah kerusakan pada trafo bahkan kemungkinan terburuk untuk mencegah supaya trafo tidak meledak (Zuhal, 2005).

1. Kelebihan Beban (*Overload*) dan Beban Tidak Seimbang

Overload terjadi karena beban yang terpasang pada trafo melebihi kapasitas maksimum yang dapat dipikul trafo dimana arus beban melebihi arus beban penuh (*full load*) dari trafo. *Overload* akan menyebabkan trafo menjadi panas dan kawat tidak sanggup lagi menahan beban, sehingga timbul panas yang

menyebabkan naiknya suhu lilitan tersebut. Kenaikan ini menyebabkan rusaknya isolasi lilitan pada kumparan trafo. Ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncul arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya *losses* (rugi-rugi), yaitu *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Semakin besar ketidakseimbangan beban pada trafo tiang maka arus netral yang mengalir ke tanah (IG) dan *losses* trafo tiang semakin besar. Salah satu cara mengatasi *losses* arus netral adalah dengan membuat sama ukuran kawat netral dan fasa.

2. *Loss Contact* Pada Terminal Bushing

Gangguan ini terjadi pada *bushing* trafo yang disebabkan terdapat kelonggaran pada hubungan kawat fasa (kabel schoen) dengan terminal bushing. Hal ini mengakibatkan tidak stabilnya aliran listrik yang diterima oleh trafo distribusi dan dapat juga menimbulkan panas yang dapat menyebabkan kerusakan belitan trafo.

3. Isolator Bocor/*Bushing* Pecah

Gangguan akibat isolator bocor/*bushing* pecah dapat disebabkan oleh :

a) *Flash Over*

Flash Over dapat terjadi apabila muncul tegangan lebih pada jaringan distribusi seperti pada saat terjadi sambaran petir/surja hubung. Bila besar surja tegangan yang timbul menyamai atau melebihi ketahanan impuls isolator, maka kemungkinan akan terjadi *flash over* pada *bushing*. Pada sistem 20 KV, ketahanan impuls isolator adalah 160 kV. *Flash over* menyebabkan loncatan busur api antara konduktor dengan bodi trafo sehingga mengakibatkan hubungan singkat fasa ke tanah.

b) *Bushing* Kotor

Kotoran pada permukaan *bushing* dapat menyebabkan terbentuknya lapisan penghantar di permukaan *bushing*. Kotoran ini dapat mengakibatkan jalannya arus melalui permukaan *bushing* sehingga mencapai body trafo. Umumnya kotoran ini

tidak menjadi penghantar sampai endapan kotoran tersebut basah karena hujan/embun.

4. Faktor Daya Rendah

Faktor daya bisa dikatakan sebagai besaran yang menunjukkan seberapa efisien jaringan yang kita miliki dalam menyalurkan daya yang bisa kita manfaatkan. Faktor daya dibatasi dari 0 hingga 1, semakin tinggi faktor daya (mendekati 1) artinya semakin banyak daya tampak yang diberikan sumber bisa kita manfaatkan, sebaliknya semakin rendah faktor daya (mendekati 0) maka semakin sedikit daya yang bisa kita manfaatkan dari sejumlah daya tampak yang sama. semua peralatan listrik memiliki kapasitas maksimum penyaluran arus, apabila faktor daya rendah artinya walaupun arus yang mengalir di jaringan sudah maksimum namun kenyataan hanya porsi kecil saja yang bermanfaat bagi pemilik jaringan.

5. Jatuh Tegangan Pada Trafo

Susut tegangan atau yang biasa disebut jatuh tegangan adalah besarnya tegangan yang diakibatkan oleh arus yang mengalir pada suatu media yang mempunyai impedansi. Untuk sistem arus searah, besarnya susut tegangan sama dengan arus dikalikan resistansi hantaran tersebut, sedangkan pada saluran arus bolak-balik besarnya susut tegangan merupakan fungsi dari arus beban dan cosinus sudut impedansi dari beban. Pada jaring distribusi primer, susut tegangan dan rugi daya sebagian besar terjadi di saluran dan trafo.

Kapasitor pada sistem daya listrik menimbulkan daya reaktif, sehingga pemasangannya pada sistem distribusi menjadikan losses akibat aliran daya reaktif pada saluran dapat dikurangi sehingga kebutuhan arus menurun dan tegangan mengalami kenaikan. Beberapa faktor penyebab susut tegangan dan rugi daya pada trafo antara lain adalah tegangan sistem, faktor daya, pembebanan.

2.2.16 Pemeliharaan Trafo

Pemeliharaan adalah suatu usaha/kegiatan terpadu yang dilakukan terhadap suatu benda, untuk mencegah kerusakan atau mengembalikan memulihkannya kepada keadaan yang normal dengan tetap mempertimbangkan

faktor-faktor ekonomis (Syafriyudin, 2011). Tujuan pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi adalah untuk menjamin kontinuitas penyaluran tegangan tinggi dan menjamin keandalan antara lain:

- a. Untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi.
- b. Untuk memperpanjang umur peralatan sesuai dengan usia teknisnya.
- c. Untuk mengurangi resiko terjadinya kegagalan atau kerusakan peralatan.
- d. Untuk mengurangi lama waktu pemadaman akibat sering terjadinya gangguan.

Adapun bentuk pemeliharaan trafo beserta cara pelaksanaannya ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Pemeliharaan Trafo

No	Peralatan / komponen yang diperiksa	Cara Pelaksanaan
1.	Tangki, radiator, pompa-pompa minyak, pipa-pipa, katup-katup, sumbat-sumbat.	Periksa apakah ada kebocoran minyak
2.	Kipas-kipas pendingin	Periksa kipas-kipas apakah ada karat pada sirip dan berputar dengan baik serta stabil.
3.	Terminal utama, rel,	Periksa dari kotoran / bangkai

	terminasi kabel, <i>jumperwire</i> , lemari kontrol	binatang atau binatang serta benda asing lainnya.
4.	Indikator tinggi minyak	Periksa tinggi permukaan minyak pada indikator tangki, konservator.
5.	<i>Bushing</i>	Periksa apakah ada yang retak, kotor, pecah dan kebocoran minyak
6.	Indikator Pompa sirkulasi	Periksa indikator pompa sirkulasi apakah masih menunjukkan aliran minyak dengan sempurna
7.	Suhu/ temperatur minyak dan kumparan transformator	Periksa temperatur minyak dan kumparan transformator.
8.	Beban transformator	Periksa beban transformator

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Bahan Penelitian

Bahan yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian dalam pembuatan aplikasi sistem pakar dengan menggunakan teknik inferensi logika *fuzzy* Tsukamoto untuk pemeliharaan preventif pada trafo PLN adalah data hasil pengukuran trafo distribusi 20 KV dengan menggunakan *Automatic Meter Reading* (AMR). Data yang di ambil berupa data histori pengukuran arus, tegangan, faktor daya dan frekuensi yang disediakan. Data yang diambil adalah data histori dari data harian sehingga dari data yang diperoleh tersebut akan digunakan sebagai data masukan untuk penelitian dengan menggunakan sistem inferensi *fuzzy* Tsukamoto.

3.2. Alat Penelitian

Alat penelitian yang digunakan dalam proses penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Perangkat keras (*hardware*) adalah peralatan dalam komputer yang secara fisik dapat dilihat. Dalam sistem komputer, perangkat keras dapat dibagi dalam empat bagian, yaitu unit masukan, unit keluaran, unit pengolah dan unit penyimpanan. Pada pembangunan sistem ini, spesifikasi minimum perangkat keras yang digunakan adalah: *RAM 1GB, Prosesor intel Core 2 Duo, HDD 320 GB, Keyboard, Monitor, Mouse*.
2. Perangkat lunak dalam sistem komputer merupakan serangkaian perintah dengan aturan tertentu yang mengatur operasi perangkat keras. Perangkat lunak terdiri atas tiga bagian, yaitu sistem operasi, bahasa pemrograman dan program aplikasi yang merupakan faktor penunjang dari sistem komputer. Perangkat lunak yang digunakan untuk membangun sistem ini adalah:

a. Windows XP

Sistem operasi yang digunakan dalam pengimplementasian perangkat lunak yang dibangun

b. Netbeans 7.0

Untuk mengatur tampilan dan tata letak data serta sebagai manual editor untuk bahasa pemrograman PHP, *Javascript*, dan HTML.

c. Netbeans 7.0 ML Windows

Sebagai *image* editor untuk pembuatan animasi teks.

d. PHP

Sebagai *Script Engine* untuk menerjemahkan bahasa pemrograman PHP pada sistem operasi windows XP.

e. Apache

Sebagai *web server* untuk pengetesan *website*.

f. MySQL

Sebagai media basis data untuk penyimpanan data.

g. Mozilla Firefox.

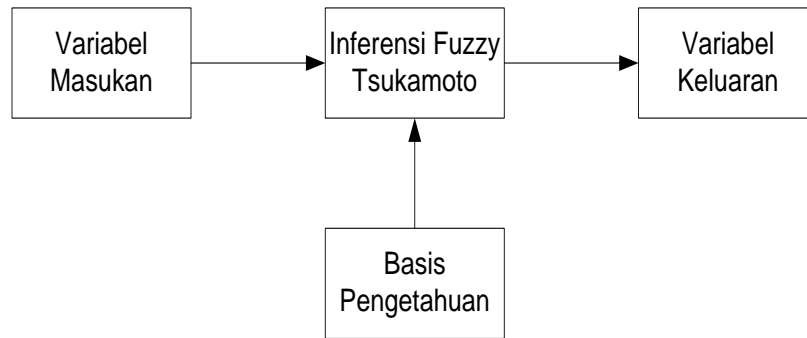
Browser yang digunakan untuk melakukan tes terhadap *website*.

3.3. Jalan Penelitian

Proses pembuatan aplikasi sistem pakar dengan menggunakan teknik inferensi logika *fuzzy* Tsukamoto untuk pemeliharaan preventif pada trafo PLN diterangkan pada penjelasan sebagai berikut:

3.3.1. Prosedur Penelitian

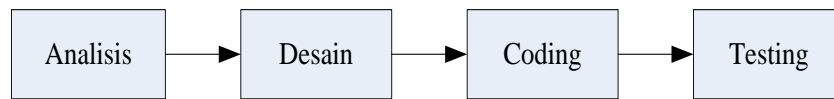
Prosedur penelitian aplikasi sistem pakar dengan menggunakan teknik inferensi logika *fuzzy* Tsukamoto untuk pemeliharaan preventif pada trafo PLN ditunjukkan seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Prosedur penelitian aplikasi sistem pakar pemeliharaan trafo PLN dengan inferensi *fuzzy* Tsukamoto

Berikut ini penjelasan prosedur penelitian aplikasi sistem pakar pemeliharaan trafo PLN yang telah digambarkan pada gambar 3.1.

1. Himpunan masukan *fuzzy* terdiri dari tegangan tiap fasa trafo, arus tiap fasa trafo, faktor daya.
2. Data tersebut merupakan data *crisp* yang kemudian dilanjutkan dengan proses fuzzifikasi. Proses fuzzifikasi bertugas mengubah data *crisp* dari masukan menjadi data *fuzzy* berdasarkan himpunan *fuzzy* yang telah ditetapkan.
3. Setelah menjadi data *fuzzy* kemudian dilanjutkan ke inferensi *fuzzy* dalam hal ini menggunakan metode *fuzzy* Tsukamoto, dimana terlebih dahulu dengan memberikan basis aturan (*Rule Base*) yang berisi aturan *If-Then*. Dalam aturan tersebut terdapat himpunan masukan *fuzzy* dan himpunan keluaran *fuzzy* yang membangun *rule-rule* tersebut.
4. Keluaran yang dihasilkan dari proses *fuzzy* yang telah dilakukan adalah nilai pembebanan trafo dan nilai ketidakseimbangan beban disertai informasi variabel tegangan, dan faktor daya dan solusinya berupa keputusan pemeliharaan trafo PLN.
5. Model proses yang digunakan dalam pembangunan perangkat lunak ini adalah model sekuensial linier atau disebut juga dengan model air terjun (Pressman, 2002). Model sekuensial linier meliputi aktivitas sebagai pada gambar 3.2 berikut



Gambar 3.2 Model Sekuensial linier (Pressman, 2002).

a. Analisis

Tahap ini merupakan tahapan menganalisa hal-hal yang diperlukan dalam pelaksanaan pembuatan perangkat lunak.

b. Desain

Tahap penerjemahan dari data yang dianalisis ke dalam bentuk yang mudah dimengerti oleh pengguna.

c. Coding

Tahap penerjemah data atau pemecahan masalah yang telah dirancang ke dalam bahasa pemrograman tertentu.

d. Testing

Merupakan tahapan pengujian terhadap perangkat lunak yang dibuat.

3.4 Variabel Masukan dan Himpunan *Fuzzy*

Variabel *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan trapesium sebagai pendekatan untuk memperoleh derajat keanggotaan suatu nilai dalam suatu himpunan *fuzzy*. Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaan yang memiliki nilai interval antara 0 dan 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Salah satu representasi fungsi keanggotaan dalam fuzzy yang akan dipakai adalah representasi trapesium. Adapun variabel dan himpunan masukan *fuzzy* dapat dilihat pada tabel 3.1. Himpunan Masukan Fuzzy terdiri atas rendah, sedang, cukup tinggi, tinggi. Variabel fuzzy terdiri atas 4 yaitu pembebanan, ketidakseimbangan beban, tegangan, faktor daya.

Tabel 3.1 Variabel Masukan dan Himpunan *Fuzzy*

No	Variabel <i>Fuzzy</i>	Himpunan <i>Fuzzy</i>			
		Rendah	Sedang	Cukup Tinggi	Tinggi
1.	Pembebanan trafo	< 40	40 <Pb<60	60 <Pb<80	Pb>80
2.	Ketidakseimbangan beban	< 20			>20
		Rendah	Normal		Tinggi
3.	Faktor Daya	<0,85	0,85 - 1		
4.	Tegangan	<195 V	195-231 V		>231 V

3.4.1 Variabel Pembebanan Trafo

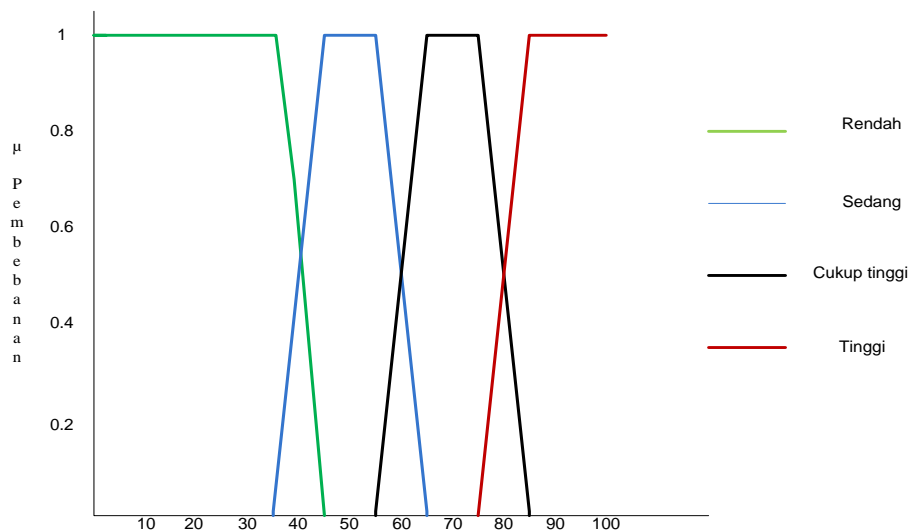
Variabel Pembebanan Trafo ini dibagi dalam 4 kategori yaitu rendah (<40), sedang ($40 \leq \text{Pembebanan} \leq 60$), cukup tinggi ($60 \leq \text{Pembebanan} \leq 80$), tinggi ($\text{Pembebanan} > 80$). Dari pembagian kategori ini nantinya dapat diketahui fungsi keanggotaannya pada setiap himpunan *fuzzy* rendah, cukup tinggi, tinggi.

$$\mu_{\text{rendah}}[a] = \begin{cases} 1; & x \leq 35 \\ \frac{(45 - x)}{10}; & 35 < x \leq 45 \\ 0; & x > 45 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{sedang}}[a] = \begin{cases} 0; & x \leq 35 \\ \frac{(x - 35)}{10}; & 35 < x < 45 \\ 1; & 45 \leq x \leq 55 \\ \frac{(65 - x)}{10}; & 55 < x \leq 65 \\ 0; & x > 65 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{cukup tinggi}} [a] = \begin{cases} 0; & x \leq 55 \\ \frac{(x - 55)}{10}; & 55 < x < 65 \\ 1; & 65 \leq x \leq 75 \\ \frac{(85 - x)}{10}; & 75 < x \leq 85 \\ 0; & x > 85 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{tinggi}} [a] = \begin{cases} 0; & x \leq 75 \\ \frac{(x - 75)}{10}; & 75 < x \leq 85 \\ 1; & x > 85 \end{cases}$$



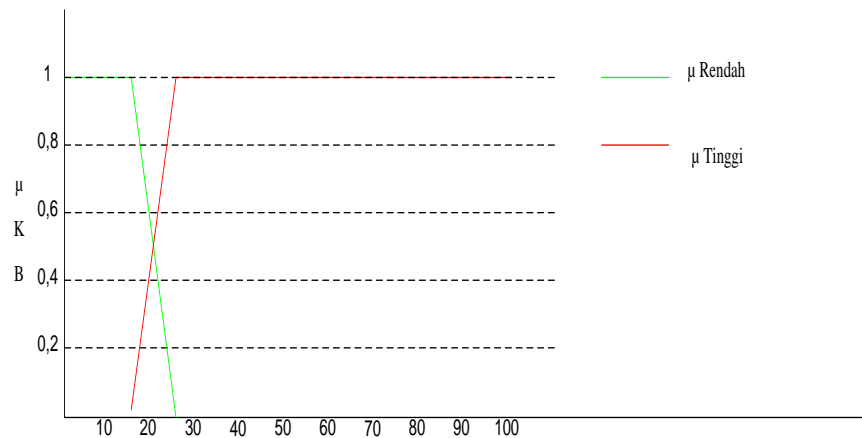
Gambar 3.3 Representasi Trapesium Pembebanan Trafo

3.4.2 Variabel Ketidakseimbangan Beban

Variabel Ketidakseimbangan beban ini dibagi dalam 2 kategori yaitu rendah (<20), tinggi (>20). Dari pembagian kategori ini nantinya dapat diketahui fungsi keanggotaannya pada setiap himpunan *fuzzy* rendah dan tinggi.

$$\mu_{\text{rendah}} [b] = \begin{cases} 1; & x \leq 15 \\ \frac{(25 - x)}{10}; & 15 < x \leq 25 \\ 0; & x > 25 \end{cases}$$

$$\mu \text{ tinggi [b]} = \begin{cases} 0; & x \leq 25 \\ \frac{(x - 15)}{10}; & 15 \leq x < 25 \\ 1; & x > 25 \end{cases}$$



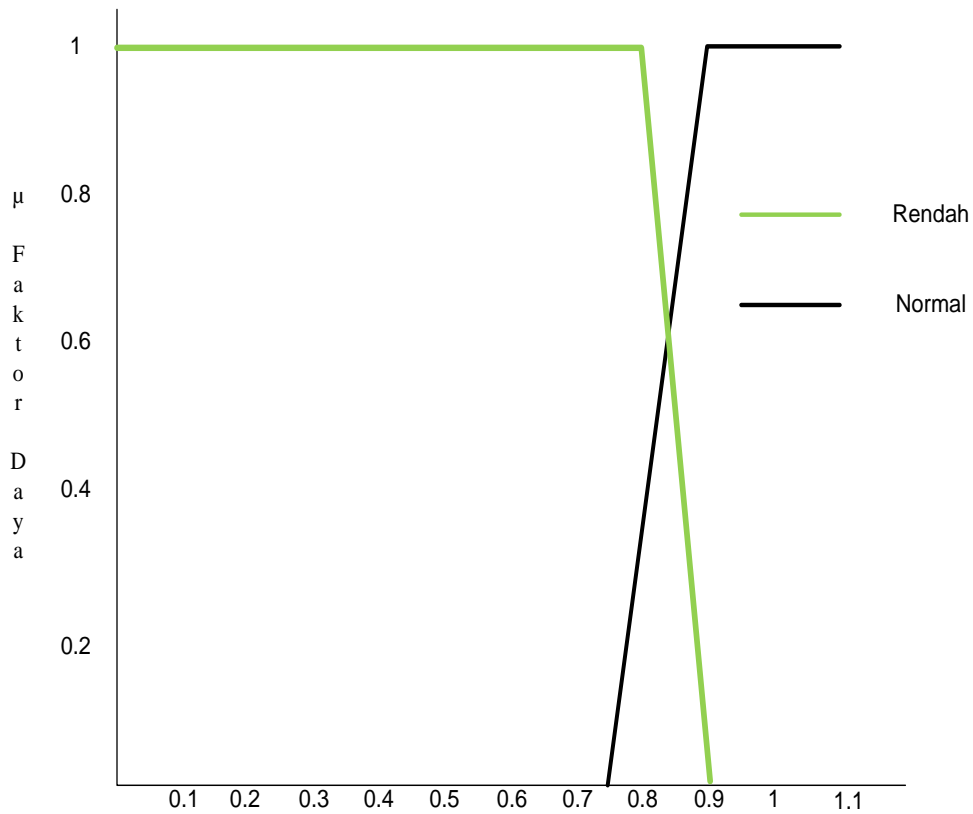
Gambar 3.4 Representasi Trapesium ketidakseimbangan beban.

3.4.3 Variabel Faktor Daya

Variabel faktor daya ini dibagi dalam 1 kategori yaitu rendah (<0,85) dan normal (0,85-1). Dari pembagian kategori ini nantinya dapat diketahui fungsi keanggotaannya pada setiap himpunan *fuzzy* rendah dan tinggi.

$$\mu \text{ rendah [d]} = \begin{cases} 1; & x \leq 0,75 \\ \frac{(0,9 - x)}{0,05}; & 0,85 \leq x < 0,9 \\ 0; & x \geq 0,9 \end{cases}$$

$$\mu \text{ normal [d]} = \begin{cases} 0; & x \leq 0,75 \\ \frac{(x - 0,85)}{0,05}; & 0,85 \leq x \leq 0,9 \\ 1; & 0,9 \leq x \leq 1,1 \end{cases}$$



Gambar 3.5 Representasi Trapesium Faktor Daya

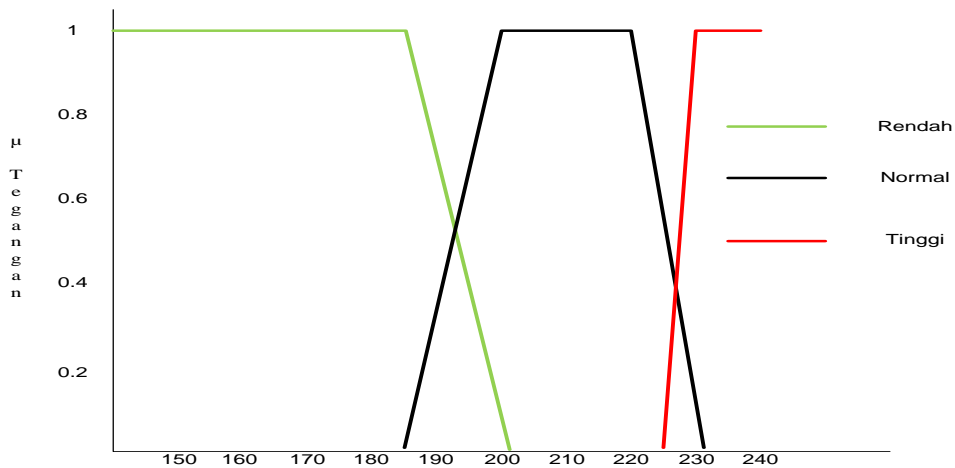
3.4.4 Variabel Tegangan

Variabel tegangan ini dibagi dalam 3 kategori yaitu rendah (< 195 V), normal ($195 < V < 231$) dan tinggi (> 231 V). Dari pembagian kategori ini nantinya dapat diketahui fungsi keanggotaannya pada setiap himpunan *fuzzy* rendah, normal dan tinggi.

$$\mu_{\text{rendah}} [e] = \begin{cases} 1; & x \leq 185 \\ \frac{(195 - x)}{10}; & 185 < x \leq 195 \\ 0; & x > 195 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{normal}} [e] = \begin{cases} 0; & x \leq 185 \\ \frac{(x - 185)}{10}; & 185 < x \leq 195 \\ 1; & 195 < x \leq 231 \\ 0; & x > 231 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{tinggi}}[e] = \begin{cases} 0; & x \leq 185 \\ \frac{(195 - x)}{10}; & 185 < x \leq 195 \\ \frac{(231 - x)}{36}; & 195 < x \leq 231 \\ 1; & x > 231 \end{cases}$$



Gambar 3.6 Representasi Trapesium Tegangan

3.5 Basis Pengetahuan

Basis pengetahuan dalam perancangan sistem ini sangatlah diperlukan yang berisi aturan-aturan atau *rules* yang berguna dalam penentuan keputusan sebagai hasil keluaran sistem. Perancangan aturan-aturan ini merupakan langkah setelah pembentukan himpunan *fuzzy*. Basis pengetahuan menyimpan pengetahuan yang terdiri dari dua elemen dasar. Meskipun seringnya fakta dan aturan dalam basis pengetahuan memiliki nilai kebenaran yang tegas (*crisp*), namun ada kalanya representasi seperti ini tidaklah dapat mencerminkan pengetahuan secara baik.

Elemen dasar pertama adalah fakta, yang dalam hal ini merupakan situasi, kondisi, dan kenyataan dari permasalahan, serta juga teori dalam bidang yang berkaitan serta informasi dari obyek. Yang kedua adalah spesial heuristik yang merupakan informasi mengenai cara untuk membangkitkan fakta baru dari fakta yang sudah diketahui. Dalam sistem berbasis-aturan (*rule-based system*), elemen kedua ini berupa kaidah atau aturan (*rule*). Aturan-aturan dalam perancangan sistem dapat di lihat di tabel 3.2.

Tabel 3.2 Aturan-aturan yang digunakan pada perhitungan *fuzzy*

P1	IF	Pembebanan Cukup Tinggi dan Keseimbangan Rendah	THEN	- Pemasangan kapasitor.
P2	IF	Pembebanan Tinggi dan Keseimbangan Rendah	THEN	- PemasanganTrafo sisipan - Pindahkan beban trafo ke trafo yang underload (bebannyarendah)
P3	IF	Pembebanan Tinggi dan Keseimbangan Tinggi	THEN	- PemasanganTrafo sisipan - Pindahkan beban trafo ke trafo yang underload (bebannyarendah) - Pindahkan beban ke fasa yang arusnya lebih rendah / lebih kecil.
P4	IF	Pembebanan Rendah dan Keseimbangan Tinggi	THEN	- Pindahkan beban ke fasa yang arusnya lebih rendah / lebih kecil.
P5	IF	Pembebanan Cukup Tinggi dan Keseimbangan Tinggi	THEN	- Pemasangan kapasitor. - Pindahkan beban ke fasa yang arusnya lebih rendah kecil.
P6	IF	Tegangan Rendah	THEN	- Periksa apakah ada

				<p>yang retak, kotor atau bocor.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ganti <i>bushing</i> bila retak/bocor dan bersihkan bila kotor. - Pemindahan beban ke penyulang lain.
P7	IF	Faktor daya Rendah	THEN	- Pemasangan Kapasitor
P8	IF	Pembebanan tinggi dan Ketidakseimbangan Tinggi dan Tegangan Rendah dan Faktor daya Rendah	THEN	<ul style="list-style-type: none"> -Pemasangan Trafo sisipan -Pindahkan beban trafo ke trafo yang underload (bebannya rendah) -Pindahkan beban ke fasa yang arusnya lebih rendah atau lebih kecil -Periksa apakah ada yang retak, kotor atau bocor. -Ganti <i>bushing</i> bila retak/bocor dan bersihkan bila kotor. -Pemindahan beban ke penyulang lain. Pemasangan kapasitor.

P9	IF	Pembebanan tinggi dan	THEN	-Pemasangan Trafo
-----------	-----------	-----------------------	-------------	-------------------

		Ketidakseimbangan Tinggi dan Tegangan Rendah dan Faktor daya Rendah	sisipan -Pindahkan beban trafo ke trafo yang underload (bebannya rendah) -Pindahkan beban ke fasa yang arusnya lebih rendah atau lebih kecil -Periksa apakah ada yang retak, kotor atau bocor. -Ganti bushing bila retak/bocor dan bersihkan bila kotor. -Pemindahan beban ke penyulang lain. -Pemasangan kapasitor.
--	--	---	--

3.6 Tabel Basis Data

Basis data merupakan salah satu komponen yang penting dalam sistem pakar dengan menggunakan inferensi *fuzzy*, karena basis data berfungsi sebagai basis data pengetahuan yang akan digunakan untuk mengambil kesimpulan tentang suatu permasalahan. Selain itu basis data diperlukan untuk mengetahui sarana dan metode penyimpanan didalam sistem.

1. Tabel sptrafo

Tabel sptrafo digunakan untuk menyimpan nilai kapasitas trafo. Struktur tabel sptrafo ditunjukkan pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Tabel sptrafo

No	Kolom	Jenis	Key
----	-------	-------	-----

1	ID	Integer	Primary Key
2	Max	Integer	
3	Min	Integer	
4	KapasitasTrafo	Integer	
5	Item	Varchar(50)	

2. Tabel Trafo

Tabel trafo digunakan untuk menyimpan variabel masukan dari trafo yang akan dimasukkan oleh user. Struktur tabel trafo ditunjukkan pada tabel 3.4

Tabel 3.4 Tabel trafo

No	Kolom	Jenis	Key
1	DateTime	Date	
2	TeganganFasaA	Float	
3	TeganganFasaB	Float	
4	TeganganFasaC	Float	
5	ArusFasaA	Float	
6	ArusFasaB	Float	
7	ArusFasaC	Float	
8	FaktorDaya	Float	
9	Frekuensi	Float	
10	ID	Float	Primary Key
11	KapasitasTrafo	Float	
12	Ratio	Float	

3. Tabel Trafo kapasitas

Tabel trafo kapasitas digunakan untuk menyimpan penambahan kapasitas baru dari trafo yang akan dimasukkan oleh *user*. Struktur tabel trafo kapasitas ditunjukkan pada tabel 3.5

Tabel 3.5 Trafo kapasitas

No	Kolom	Jenis	Key
1	KapasitasTrafo	Float	

2	Status	Varchar	
3	Ratio	Float	
4	Pembilang	Integer	
5	Penyebut	Integer	

4. Tabel users

Tabel *users* digunakan untuk menyimpan data username dan password user yang akan menggunakan sistem pakar trafo PLN . Struktur tabel *users* ditunjukkan pada tabel 3.6

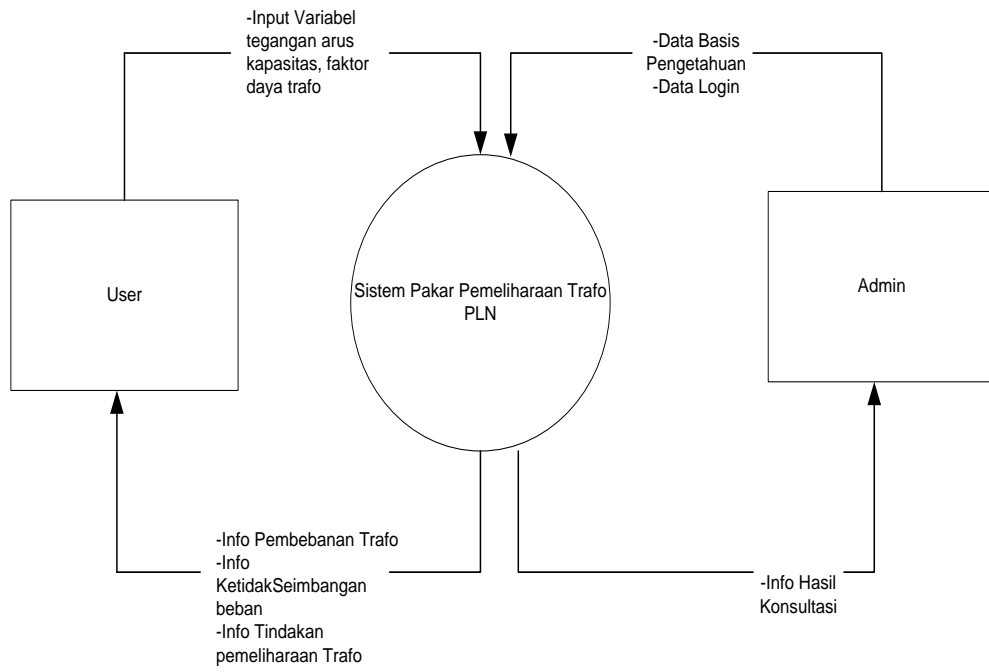
Tabel 3.6 Users

No	Kolom	Jenis	Key
1	ID	Integer	Primary key
2	Username	Varchar	
3	Password	Varchar	
4	DateCreated	Date	
5	UserRole	Varchar	

3.7 Diagram konteks Implementasi Sistem Pakar Dengan Inferensi Fuzzy Tsukamoto untuk pemeliharaan Trafo PLN.

Dalam proses pengembangan desain sistem fuzzy digunakan model berupa metode berarah aliran data dengan menggunakan Diagram alir data (DAD). Desain ini dimulai dari bentuk yang paling global yaitu diagram konteks. Aliran data bersumber dari pengetahuan yang dimasukan oleh admin ke dalam sistem, yang kemudian akan diproses. admin akan menerima data gejala penyimpangan pada trafo dan mengolahnya. *User* memasukan variabel masukan trafo yang dirasakan untuk keperluan konsultasi, kemudian *user* akan menerima hasil konsultasi berupa nilai pembebanan trafo dan ketidak seimbangan beban beserta solusi dari hasil konsultasi. Diagram konteks sistem inferensi *fuzzy* ini ditampilkan pada Gambar 3.8. Dalam diagram alir data ini admin dapat mengolah data basis pengetahuan, data login. Sedangkan user dapat memasukkan data

variabel masukan trafo, data login. Dan *user* dapat melihat info pembebanan trafo, info ketidak seimbangan beban, info tindakan pemeliharaan trafo.



Gambar 3.7 Diagram Konteks (DAD Level 0)