

SKRIPSI

PEMBANGUNAN *FUZZY EXPERT SYSTEM* UNTUK
DIAGNOSIS PENYAKIT GINJAL



Reynaldi Lukas Yudawinata

NPM: 6181901038

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2023

UNDERGRADUATE THESIS

**DEVELOPMENT OF FUZZY EXPERT SYSTEM FOR
DIAGNOSING KIDNEY DISEASE**



Reynaldi Lukas Yudawinata

NPM: 6181901038

**DEPARTMENT OF INFORMATICS
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND SCIENCES
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

PEMBANGUNAN *FUZZY EXPERT SYSTEM* UNTUK
DIAGNOSIS PENYAKIT GINJAL

Reynaldi Lukas Yudawinata

NPM: 6181901038

Bandung, 10 Juli 2023

Menyetujui,

Pembimbing

Digitally signed
by Husnul
Hakim

Husnul Hakim, M.T.

Ketua Tim Penguji

Digitally signed
by Lionov

Lionov, Ph.D.

Anggota Tim Penguji

Digitally signed
by Natalia

Natalia, M.Si.

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Digitally signed
by Mariskha Tri
Adithia

Mariskha Tri Adithia, P.D.Eng

PERNYATAAN

Dengan ini saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

PEMBANGUNAN *FUZZY EXPERT SYSTEM* UNTUK DIAGNOSIS PENYAKIT GINJAL

adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung segala risiko dan sanksi yang dijatuhkan kepada saya, apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non-formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini.

Dinyatakan di Bandung,
Tanggal 10 Juli 2023



Reynaldi Lukas Yudawinata
NPM: 6181901038

ABSTRAK

Pada skripsi ini, dibuat sebuah perangkat lunak *fuzzy expert system* untuk mendiagnosis penyakit ginjal kronis (CKD), berdasarkan dataset yang dimiliki (dari [Kaggle](#)). *Fuzzy expert system* adalah sebuah perangkat lunak yang mensimulasikan pengambilan keputusan seorang ahli terhadap sebuah permasalahan menggunakan logika *fuzzy*, yang merupakan jenis logika di mana derajat kebenaran sebuah pernyataan bernilai antara 0 sampai 1.

Penyakit ginjal kronis (CKD) adalah kondisi berkurangnya kemampuan filtrasi ginjal secara berkala, ireversibel, dan terus-menerus. Penyakit ini belum memiliki penanganan yang dapat menyembuhkannya secara total, selain transplantasi ginjal. Pada stadium tinggi, penanganan CKD yang dapat dilakukan hanyalah transplantasi ginjal atau dialisis, di mana penanganan tersebut memakan biaya yang besar. Adapun penanganan alternatif CKD yang memakan biaya yang lebih kecil, namun, agar penanganan alternatif dapat dilakukan, CKD perlu didiagnosis secara dini (stadium rendah). Beberapa metode yang bisa dilakukan untuk mendiagnosis CKD secara dini adalah dengan menggunakan laju filtrasi ginjal (LFG) sebagai indikator penyakit, dan mendiagnosis CKD berdasarkan gejalanya. Namun, metode-metode tersebut belum dapat mendiagnosis CKD secara akurat. Karena itu, ingin dibuat *fuzzy expert system* untuk membantu pihak medis dalam mendiagnosis CKD. Adapun metode untuk mendiagnosis CKD yang pernah diusulkan, yaitu *expert system* untuk mendiagnosis CKD yang diusulkan oleh Laith R. Fleaih dalam "*Expert System for Diagnosing Kidney Diseases*".

Fuzzy expert system dapat diimplementasikan untuk diagnosis CKD, dengan cara mengimplementasikan sistem inferensi *fuzzy* sebagai komponen *inference engine* dari *expert system*. Pada sistem inferensi *fuzzy* yang dibangun, digunakan Inferensi Mamdani dan Tsukamoto. Salah satu komponen lain dari *fuzzy expert system* adalah *knowledge acquisition*, di mana salah satu bentuknya adalah *fuzzy rule base*. *Fuzzy rule base* dapat dibentuk dengan metode yang diusulkan oleh Wang dan Mendel, di mana *fuzzy rule base* dibentuk berdasarkan suatu dataset. Selama pengerjaan skripsi ini, ditemukan kendala utama berupa *curse of dimensionality*, di mana hal ini menyebabkan sistem tidak dapat mendiagnosis CKD. Untuk menyelesaikan masalah ini, dipilih lima atribut dengan nilai *R-squared* tertinggi.

Pengujian/eksperimen kinerja perangkat lunak *fuzzy expert system* untuk diagnosis CKD yang dibuat, dilakukan dengan pertama-tama membagi eksperimen ke dalam empat kelompok. Pada setiap kelompok eksperimen, diambil data untuk dijadikan *fuzzy rule base*, dan *test data*, dari kuartal dataset berbeda-beda. Lalu dihitung akurasi diagnosis dari setiap kelompok eksperimen. Pada akhir eksperimen, keempat nilai akurasi diagnosis dirata-rata. Pengujian dilakukan untuk Inferensi Mamdani dan Tsukamoto, lalu hasilnya dibandingkan. Berdasarkan hasil eksperimen dengan dataset yang dimiliki, disimpulkan bahwa *fuzzy expert system* dengan kedua jenis inferensi tersebut dapat mendiagnosis CKD dengan tingkat akurasi yang baik, yaitu dengan tingkat akurasi terbesar sebesar 94.5% (Mamdani), dan 95.5% (Tsukamoto) masing-masing.

Kata-kata kunci: *Expert system, Fuzzy expert system, Logika fuzzy, Penyakit ginjal kronis, Algoritma Wang dan Mendel*

ABSTRACT

In this thesis, a fuzzy expert system is built to diagnose chronic kidney disease (CKD) based on a given dataset (from [Kaggle](#)). Fuzzy expert system is a software that simulates decision making of a human expert on a given problem, using the fuzzy logic, which is a type of logic where a statement could have a truth degree value ranging from 0 to 1.

Chronic kidney disease (CKD) is a condition of kidney's gradual loss of its filtration function over time, irreversibly. This disease has no treatment that can totally cure it yet, aside from kidney transplantation. At high stadium, the only treatment that can save the patient's life is either kidney transplantation, or dialysis, where those treatments take up a huge cost. There is a cheaper alternative treatment for CKD, however, in order for the alternative treatment to be done, CKD patients need to be diagnosed early (low stadium). Some methods to diagnose CKD in the early state are by using glomerulus filtration rate (GFR) as the disease's indicator, and diagnosing CKD based on the symptoms. However, these methods couldn't diagnose CKD accurately enough. Therefore, a fuzzy expert system that can help medical experts to diagnose CKD is made. There is a method to diagnose CKD that has been proposed before. That method is an expert system to diagnose CKD that was proposed by Laith R. Fleaih, in "Expert System for Diagnosing Kidney Diseases".

Fuzzy expert system can be implemented for diagnosing CKD, by implementing a fuzzy inference system as the inference engine component of the expert system. The built fuzzy inference system uses Tsukamoto's and Mamdani's Method. Another component of a fuzzy expert system is knowledge acquisition, where one of its form is fuzzy rule base. A fuzzy rule base can be built with a method proposed by Wang and Mendel, where the fuzzy rule base is made based on a dataset. During the development of this thesis, a main problem was found, which is the curse of dimensionality, where it causes the built system not being able to diagnose CKD. To solve this problem, five attributes with the highest R-squared value was chosen.

The examination/experiment of the fuzzy expert system to diagnose CKD is done by first dividing the experiment into four groups. In each experiment groups, a group of data is taken in order to be made into a *fuzzy rule base*, and *test data*, each from different quarters of the dataset. Then, the diagnosis accuracy from each group is calculated. At the end of the experiment, the four accuracy value is averaged. Experiments are done by using the Mamdani's and Tsukamoto's Inference Method, and the results are compared. Based on the experiment results towards the given dataset, it is concluded that the built fuzzy expert system that uses Mamdani's and Tsukamoto's Inference Method can diagnose CKD with a good accuracy rate, which is with the highest accuracy rate of 94.5%(Mamdani), and 95.5%(Tsukamoto) respectively.

Keywords: Expert system, Fuzzy expert system, Fuzzy logic, Chronic kidney disease, Wang and Mendel's algorithm

Skripsi ini dipersembahkan untuk keluarga dan seluruh pihak yang membantu pengerjaan skripsi ini.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa. Karena berkat dan pimpinannya, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan topik “Pembangunan *Fuzzy Expert System* untuk Diagnosis Penyakit Ginjal”. Dalam pengerjaan skripsi ini, penulis menerima banyak dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasihnya kepada:

- Tuhan yang Maha Esa, atas pimpinan dan penyertaannya selama pengerjaan skripsi dan perjalanan kuliah.
- Keluarga, terutama papa dan mama tercinta, yang selalu memberikan dukungan terbaik kepada penulis, selama perjalanan kuliah dan pengerjaan skripsi.
- Bapak Husnul Hakim, M.T. selaku dosen pembimbing, yang telah dengan sabar dan baik hati meluangkan waktunya untuk membimbing dan membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.
- Bapak Lionov, Ph.D. dan Ibu Natalia, M.Si. selaku dosen penguji, yang telah memberikan kritik dan saran membangun kepada penulis.
- Sahabat-sahabat yang telah memberikan dukungan berupa saran, serta hiburan kepada penulis, selama perjalanan kuliah dan skripsi penulis, terutama Kevin, Kenneth, Marco, Gerry, Randi, Owen, Catherine, Larisa, dan Ingrid.
- Sahabat-sahabat dari Hadillegal, terutama Jason Hadinata, yang telah mengajarkan dan memberikan sumber referensi kepada penulis mengenai berbagai konsep dan teori matematika yang dibutuhkan selama pengerjaan skripsi ini.
- Sahabat-sahabat satu angkatan Informatika UNPAR yang telah berjuang bersama sejak awal perkuliahan, terutama Nanda, Aldo, dan Wilson.
- Sahabat-sahabat GKI Anugerah, yang telah memberikan semangat dan motivasi kepada penulis selama mempersiapkan sidang, terutama Juan, Vincent, Laura, dan Ko David.
- Kesun, sebagai kawan seperjuangan skripsi, yang telah memberikan banyak saran dan motivasi selama pengerjaan skripsi ini.
- Teman-teman lainnya yang belum dapat disebutkan satu per satu oleh penulis.

Penulis pun menyadari, bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, dan tidak lepas dari kesalahan. Karenanya, penulis mengharapkan masukan berupa kritik dan saran membangun, yang dapat membantu penulis, pembaca, serta pihak lain yang ingin mereferensikan atau mengembangkan penelitian pada skripsi ini lebih lanjut.

Bandung, Juli 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxv
DAFTAR KODE PROGRAM	xxviii
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Metodologi	5
2 LANDASAN TEORI	7
2.1 Ginjal	7
2.2 Penyakit Ginjal	9
2.2.1 Penjelasan Beberapa Penyakit Ginjal Mayor	10
2.2.2 Penyakit Ginjal Kronis	11
2.3 <i>Expert System</i>	13
2.4 Logika Boolean	14
2.5 <i>Fuzzy Theory</i> dan <i>Fuzzy Set</i>	15
2.6 <i>Fuzzy Logic</i>	16
2.6.1 Operasi Pada <i>Fuzzy Logic/Fuzzy Theory</i>	17
2.7 <i>Fuzzy Inference System</i>	18
2.7.1 <i>Fuzzification</i>	18
2.7.2 <i>Fuzzy Implication</i>	22
2.7.3 <i>Defuzzification</i>	23
2.7.4 Perbedaan Inferensi Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto	25
2.8 <i>Fuzzy Expert System</i>	25
2.9 Variabel Input <i>Fuzzy Expert System</i> Untuk Diagnosis CKD	26
2.10 Metode Pembangunan <i>Fuzzy Rule Base</i> Wang dan Mendel	27
2.10.1 Pembentukan (<i>Fuzzy Region</i>)	27
2.10.2 Pembangunan <i>Fuzzy Rule</i> Dari Pasangan Data <i>Input-Output</i>	28
2.10.3 Penentuan Derajat Dari Setiap <i>Fuzzy Rule</i>	29
2.10.4 Pembangunan <i>Fuzzy Rule Base</i>	29
2.10.5 <i>Curse of Dimensionality</i>	31
2.11 Regresi Linear	31
2.12 <i>Logistic Regression</i>	32

3	ANALISIS	35
3.1	Analisis Masalah	35
3.2	Analisis Komponen <i>Expert System</i>	36
3.3	Analisis Dataset	37
3.3.1	Pengumpulan Data	37
3.3.2	Pembersihan Data/ <i>Data Cleaning</i>	38
3.3.3	Transformasi Data	39
3.3.4	Pembagian Dataset	40
3.4	Analisis Metode <i>Fuzzy Inference System</i> yang Dipakai	41
3.5	Analisis Pembangunan <i>Fuzzy Rule</i>	65
3.6	Studi Kasus Penyelesaian Masalah	66
3.6.1	Studi Kasus Pembentukan <i>Fuzzy Rule Base</i>	66
3.6.2	Studi Kasus <i>Fuzzy Inference System</i>	69
3.6.3	Analisis Masalah <i>Curse of Dimensionality</i>	78
4	PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK	81
4.1	Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak <i>Fuzzy Expert System</i> Untuk Diagnosis CKD	81
4.2	Analisis Skenario <i>Use Case</i> Perangkat Lunak <i>Fuzzy Expert System</i> Untuk Diagnosis CKD	83
4.2.1	Skenario Pengguna Memilih Atribut CKD	84
4.2.2	Skenario Pengguna Memasukan <i>Fuzzy Rule Base</i> yang Diharapkan	84
4.2.3	Skenario Alternatif Pengguna Memasukan <i>Fuzzy Rule Base</i>	85
4.2.4	Skenario Pengguna Memasukan <i>Input</i> Secara Normal/Diharapkan	85
4.2.5	Skenario Alternatif Pengguna Memasukan <i>Input</i>	86
4.2.6	Skenario Pengguna Melihat Hasil Diagnosis Sistem	86
4.2.7	Skenario Alternatif Pengguna Melihat Hasil Diagnosis Sistem	86
4.2.8	Skenario Pengguna Menjalankan <i>Script</i> Eksperimen	87
4.3	Perancangan Kelas Perangkat Lunak <i>Fuzzy Expert System</i> Untuk Diagnosis CKD	87
4.3.1	Perancangan Kelas Program <i>Fuzzy Rule Generator</i>	120
4.3.2	Perancangan Antarmuka Perangkat Lunak <i>Fuzzy Expert System</i> Untuk Diagnosis CKD	130
5	IMPLEMENTASI & PENGUJIAN	139
5.1	Implementasi Tampilan Antarmuka	139
5.2	Pengujian	145
5.2.1	Pengujian Fungsional	146
5.2.2	Pengujian Eksperimental	147
5.2.3	Eksperimen Penggunaan Atribut <i>Antecedent</i> Berbeda-Beda Terhadap Performa Diagnosis	147
5.2.4	Eksperimen Pengaruh Metode <i>Defuzzification</i> COG dan MeOM Terhadap Akurasi Diagnosis Dengan Menggunakan Inferensi Mamdani	150
5.2.5	Eksperimen Pengaruh Jenis Inferensi Terhadap Akurasi Diagnosis	151
5.2.6	Eksperimen Pengaruh Pemilihan Jumlah Atribut CKD Kurang Dari 5 Terhadap Akurasi Diagnosis CKD	152
6	KESIMPULAN & SARAN	155
6.1	Kesimpulan	155
6.2	Saran	155
	DAFTAR REFERENSI	157
	A KODE PROGRAM PERANGKAT LUNAK <i>Fuzzy Expert System</i>	161

B KODE PROGRAM FUZZY RULE GENERATOR	189
C KODE PROGRAM UNTUK <i>Pre-processing</i> DATASET	211
D KODE PROGRAM UNTUK MENGHITUNG NILAI <i>R-Squared</i> ATRIBUT CKD	213

DAFTAR GAMBAR

2.1	Gambar ginjal	7
2.2	Gambar anatomi ginjal	8
2.3	Gambar anatomi nefron	9
2.4	Gambar hasil tes radiologi dengan masalah batu ginjal	10
2.5	Gambar mesin hemodialisis	12
2.6	Gambar perut pasien dialisis peritoneal	13
2.7	Diagram skema <i>expert system</i>	14
2.8	Fungsi Keanggotaan Singleton	18
2.9	Fungsi Keanggotaan Linear	19
2.10	Fungsi Keanggotaan Triangular	19
2.11	Fungsi Keanggotaan Trapezoidal	20
2.12	Fungsi Keanggotaan Gaussian	20
2.13	Fungsi Keanggotaan Sigmoidal	20
2.14	Fungsi Keanggotaan Double-Sigmoidal	21
2.15	Grafik fungsi keanggotaan kualitas makanan	21
2.16	<i>Fuzzification</i> nilai <i>crisp</i> kualitas makanan	21
2.17	Contoh fungsi keanggotaan konsekuen	22
2.18	Contoh hasil implikasi Inferensi Mamdani	23
2.19	<i>Defuzzification</i> dengan MeOM	24
2.20	<i>Defuzzification</i> dengan COG	24
2.21	<i>Flow diagram</i> cara kerja kasar <i>fuzzy expert system</i>	26
2.22	Pembagian <i>fuzzy region</i> pasangan data <i>input</i> dan <i>output</i> beserta fungsi keanggotaannya	28
2.23	Bentuk dari <i>fuzzy rule base</i>	30
2.24	Contoh penetapan isi <i>cell</i> dari <i>fuzzy rule base</i>	30
2.25	Contoh residu dari setiap nilai <i>y</i> titik data terhadap titik <i>y</i> hasil prediksi	32
3.1	<i>Flowchart</i> analisis masalah	36
3.2	<i>Flowchart</i> analisis masalah dengan pemilihan atribut CKD	36
3.3	Gambaran 20 <i>record</i> dataset yang didapat sebelum dibersihkan	39
3.4	Gambaran 20 <i>record</i> dataset yang didapat setelah dibersihkan	39
3.5	Gambaran 20 <i>record</i> dataset setelah transformasi	40
3.6	Grafik fungsi keanggotaan <i>age</i>	42
3.7	Grafik fungsi keanggotaan <i>blood pressure</i>	43
3.8	Grafik fungsi keanggotaan <i>specific gravity</i>	44
3.9	Grafik fungsi keanggotaan <i>albumin</i>	45
3.10	Grafik fungsi keanggotaan <i>sugar</i>	47
3.11	Grafik fungsi keanggotaan <i>red blood cell</i>	47
3.12	Grafik fungsi keanggotaan <i>pus cell</i>	48
3.13	Grafik fungsi keanggotaan <i>pus cell clumps</i>	49
3.14	Grafik fungsi keanggotaan <i>bacteria</i>	50
3.15	Grafik fungsi keanggotaan <i>blood glucose random</i>	51
3.16	Grafik fungsi keanggotaan <i>blood urea</i>	52

3.17	Grafik fungsi keanggotaan <i>serum creatinine</i>	53
3.18	Grafik fungsi keanggotaan <i>sodium</i>	54
3.19	Grafik fungsi keanggotaan <i>potassium</i>	55
3.20	Grafik fungsi keanggotaan <i>hemoglobin</i>	56
3.21	Grafik fungsi keanggotaan <i>packed cell volume</i>	57
3.22	Grafik fungsi keanggotaan <i>white blood cell count</i>	58
3.23	Grafik fungsi keanggotaan <i>red blood cell count</i>	59
3.24	Grafik fungsi keanggotaan <i>hypertension</i>	60
3.25	Grafik fungsi keanggotaan <i>diabetes melitus</i>	60
3.26	Grafik fungsi keanggotaan <i>coronary artery disease</i>	61
3.27	Grafik fungsi keanggotaan <i>appetite</i>	62
3.28	Grafik fungsi keanggotaan <i>pedal edema</i>	63
3.29	Grafik fungsi keanggotaan <i>anemia</i>	63
3.30	Grafik fungsi keanggotaan <i>classification</i>	64
3.31	Proses pencarian daerah pada himpunan konsekuen untuk data baris pertama	74
3.32	Proses pencarian daerah pada himpunan konsekuen untuk data baris kedua	75
3.33	<i>Defuzzification</i> COG Untuk Baris Data Kedua	76
3.34	<i>Defuzzification</i> MeOM Untuk Baris Data Kedua	77
3.35	<i>Defuzzification</i> COG Untuk Baris Data Pertama	77
3.36	<i>Defuzzification</i> MeOM Untuk Baris Data Pertama	78
4.1	<i>Activity Diagram</i>	82
4.2	<i>Use Case Diagram</i>	83
4.3	<i>Class diagram fuzzy expert system</i>	88
4.4	<i>Class diagram fuzzy rule generator</i>	121
4.5	Rancangan antarmuka utama yang pertama keluar setelah perangkat lunak dijalankan	131
4.6	Rancangan antarmuka untuk kasus sukses jika pengguna menekan <i>button</i> “Diagnose”	132
4.7	Rancangan antarmuka untuk kasus <i>error</i> jika pengguna menekan <i>button</i> “Diagnose” tanpa memasukan <i>input</i> valid	133
4.8	Rancangan antarmuka untuk kasus <i>error</i> jika pengguna menekan <i>button</i> “Diagnose” tanpa memasukan <i>fuzzy rule base</i>	133
4.9	Rancangan antarmuka untuk kasus <i>error button</i> “Diagnose” di mana atribut input berbeda dengan <i>fuzzy rule base</i>	134
4.10	Rancangan antarmuka <i>Window</i> “Insert New Rules”	135
4.11	Rancangan antarmuka <i>Window</i> “Insert New Rules” saat pengguna sukses memasukan <i>fuzzy rule base</i>	135
4.12	Rancangan antarmuka <i>Window</i> “Insert New Rules” jika pengguna menekan <i>button</i> “Submit” tanpa memasukan file apapun	135
4.13	Rancangan antarmuka <i>Window</i> “Insert New Rules” jika pengguna memasukan file dengan tipe selain txt	135
4.14	Rancangan antarmuka <i>Window</i> “Insert New Rules” jika file tidak ditemukan	136
4.15	Rancangan antarmuka <i>Window</i> “Insert New Rules” jika file tidak valid	136
4.16	Rancangan antarmuka <i>Window</i> “Insert New Rules” jika tidak ada atribut terpilih	136
4.17	Rancangan antarmuka <i>Window</i> “Select Attribute”	137
4.18	Rancangan antarmuka <i>Window</i> Eksperimen	137
5.1	Tampilan antarmuka saat perangkat lunak dibuka	140
5.2	Tampilan antarmuka setelah perangkat lunak mengeluarkan hasil diagnosis	141
5.3	Tampilan antarmuka jika pengguna belum memasukan <i>fuzzy rule base</i> dan menekan <i>button</i> “Diagnose”	141
5.4	Tampilan antarmuka jika pengguna memasukan <i>input</i> tidak valid dan menekan <i>button</i> “Diagnose”	142

5.5	Tampilan antarmuka jika pengguna memilih atribut yang berbeda dengan <i>fuzzy rule base</i> dan menekan <i>button “Diagnose”</i>	142
5.6	Tampilan antarmuka jika pengguna menekan <i>button “Insert new rules”</i>	143
5.7	Tampilan antarmuka jika pengguna sukses memasukan <i>fuzzy rule base</i>	143
5.8	Tampilan antarmuka jika pengguna menekan <i>button “Submit”</i> tanpa memasukan file sebelumnya	144
5.9	Tampilan antarmuka jika pengguna menekan <i>button “Submit”</i> setelah memasukan file dengan tipe bukan txt sebelumnya	144
5.10	Tampilan antarmuka jika pengguna menekan <i>button “Submit”</i> setelah memasukan file yang tidak bisa ditemukan sebelumnya	144
5.11	Tampilan antarmuka jika pengguna menekan <i>button “Submit”</i> setelah memasukan file yang tidak valid	144
5.12	Tampilan antarmuka jika pengguna menekan <i>button “Submit”</i> tanpa memilih atribut CKD apapun	145
5.13	Tampilan antarmuka <i>window select attribute</i>	145
5.14	Tampilan antarmuka <i>window eksperimen</i>	145

DAFTAR TABEL

1.1	Tabel stadium CKD	1
1.2	Tabel perbedaan antara teknik Inferensi Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto	4
2.1	Tabel jenis penyakit ginjal mayor	9
2.2	Tabel nilai hasil penggabungan P_1 dan P_2	15
2.3	Tabel nilai hasil penggabungan P_1 atau P_2	15
2.4	Tabel nilai hasil dari $NOT P_1$	15
2.5	Tabel keanggotaan nomor dadu untuk Himpunan “Angka Besar”	16
2.6	Tabel keanggotaan nomor dadu untuk berbagai himpunan	17
2.7	Tabel perbedaan antara teknik Inferensi Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto	25
2.8	Tabel 49 atribut CKD	26
3.1	Tabel penjelasan atribut	37
3.2	Hasil transformasi dataset	40
3.3	Tabel data-data yang dibutuhkan proses pembangunan <i>rules</i>	65
3.4	Dataset yang digunakan untuk studi kasus pembangunan <i>rules</i>	66
3.5	Tabel derajat keanggotaan terbesar untuk setiap data 3 <i>record</i> pertama	67
3.6	Dataset yang digunakan untuk studi kasus <i>fuzzy inference</i>	69
3.7	Derajat keanggotaan sodium baris pertama pada setiap himpunan	70
3.8	Derajat keanggotaan setiap atribut pada setiap himpunan	70
3.9	Tabel derajat <i>antecedent</i>	73
3.10	Tabel derajat nilai konsekuen	74
3.11	Jumlah himpunan yang dimiliki setiap atribut antecedent beserta total kombinasinya	79
3.12	Atribut <i>antecedent</i> dataset beserta nilai R^2	80
4.1	Skenario pengguna memilih atribut CKD	84
4.2	Skenario pengguna memasukan <i>fuzzy rule base</i> secara normal	84
4.3	Skenario pengguna alternatif memasukan <i>fuzzy rule base</i>	85
4.4	Skenario pengguna memasukan <i>input</i> secara normal	85
4.5	Skenario alternatif pengguna memasukan <i>input</i>	86
4.6	Skenario pengguna melihat hasil diagnosis	86
4.7	Skenario alternatif pengguna melihat hasil diagnosis (alternatif)	87
4.8	Skenario menjalankan <i>script</i> eksperimen	87
5.1	Hasil pengujian fungsional	146
5.2	Pembagian quartal dataset yang dipakai untuk <i>test data</i> dan pembentukan <i>fuzzy rule base</i>	147
5.3	Hasil pengujian performa perangkat lunak dengan seluruh atribut	148
5.4	Atribut <i>antecedent</i> dataset beserta jumlah kasus derajat bernilai 0	148
5.5	Hasil uji performa dengan menggunakan 5 atribut dengan <i>R-squared</i> tertinggi	149
5.6	Hasil uji performa dengan 5 atribut dengan jumlah kasus penyebab derajat bernilai 0 terendah	150
5.7	Atribut yang digunakan pada setiap kelompok eksperimen dari Eksperimen 3	152

5.8 Hasil eksperimen 4 kelompok 1	153
5.9 Hasil eksperimen 4 kelompok 2	153
5.10 Hasil eksperimen 4 kelompok 3	154
5.11 Hasil eksperimen 4 kelompok 4	154

DAFTAR KODE PROGRAM

4.1	<i>getNewRules</i>	92
4.2	<i>setArrOfSets</i>	94
4.3	<i>setArrOfSetsClassification</i>	95
4.4	<i>submit</i>	101
4.5	<i>ujiFungsional</i>	104
4.6	<i>eksperimen1Part1</i>	105
4.7	<i>eksperimen1Part2</i>	106
4.8	<i>eksperimen1Part3</i>	107
4.9	<i>eksperimen2</i>	107
4.10	<i>eksperimen3</i>	109
4.11	<i>eksperimen4</i>	109
4.12	<i>testData</i>	111
4.13	<i>fuzzification</i>	113
4.14	<i>fuzzyImplication</i>	115
4.15	<i>countValueCKD</i>	116
4.16	<i>meanOfMaxima</i>	117
4.17	<i>centreOfGravity</i>	117
4.18	<i>countIntegralPembilangNotCKD1</i>	118
4.19	<i>countIntegralPenyebutNotCKD1</i>	118
4.20	<i>countIntegralPembilangNotCKD2</i>	119
4.21	<i>countIntegralPenyebutNotCKD2</i>	119
4.22	<i>countIntegralPembilangCKD1</i>	119
4.23	<i>countIntegralPenyebutCKD1</i>	119
4.24	<i>countIntegralPembilangCKD2</i>	119
4.25	<i>countIntegralPenyebutCKD2</i>	120
4.26	<i>Weighted Average</i>	120
4.27	<i>generateRules</i>	122
4.28	<i>getDomainInterval</i>	124
4.29	<i>generateRule</i>	125
4.30	<i>countRuleDegree</i>	129
4.31	<i>handleConflict</i>	129
4.32	<i>makeFuzzyRuleBase</i>	130
A.1	<i>GUI.java</i>	161
A.2	<i>InferenceEngine.java</i>	168
A.3	<i>Input.java</i>	175
A.4	<i>KnowledgeBase.java</i>	177
A.5	<i>FileInputWindow.java</i>	179
A.6	<i>SelectAttributeWindow.java</i>	181
A.7	<i>TestWindow.java</i>	182
B.1	<i>Main.java</i>	189

B.2	RuleGenerator.java	190
C.1	CleaningAndTransformation.py	211
D.1	CountRSquared.py	213

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ginjal adalah organ utama yang mengatur banyaknya dan komposisi dari cairan ekstraseluler dalam tubuh makhluk hidup [1]. Ginjal berfungsi untuk ekskresi sampah metabolisme tubuh melalui urin [2]. Sampah metabolisme ini bersifat racun bagi tubuh, sehingga dengan kata lain, peran atau fungsi ginjal adalah menyaring racun-racun tersebut dari darah [3].

Penyakit didefinisikan sebagai kondisi pada tubuh atau bagian tubuh suatu makhluk hidup yang menyebabkan tubuh atau bagian tubuh makhluk hidup tersebut tidak berfungsi dengan normal ¹. Salah satu penyakit yang dapat terjadi pada ginjal adalah penyakit ginjal kronis. Penyakit Ginjal Kronis atau *chronic kidney disease*(CKD) adalah kondisi berkurangnya fungsi ginjal secara berkala, ireversibel, dan terus-menerus [3]. Saat ginjal tidak berfungsi dengan baik atau rusak, maka ginjal tidak dapat melakukan fungsinya dengan baik pula, sehingga sampah-sampah hasil metabolisme tidak akan bisa dibuang. CKD memiliki beberapa stadium/*stage*, yaitu stadium 1 sampai 5 [4]. Semakin besar stadiumnya, semakin parah penyakitnya, dan risiko nyawa semakin tinggi. Pada Tabel 1.1 [4] diperlihatkan perkembangan stadium CKD, di mana stadium ini diukur dari laju filtrasi ginjal(LFG). Pada stadium rendah, CKD tidak memiliki gejala spesifik, sehingga terkadang pasien tidak terdiagnosis, atau baru terdiagnosis CKD saat stadiumnya sudah tinggi [5]. Gejala CKD pada stadium tinggi di antaranya adalah pergelangan kaki yang bengkak, kelelahan, kesulitan dalam berkonsentrasi, selera makan turun, dan adanya darah pada urin [6]. Jika tidak ditangani, kondisi tersebut dapat menjadi lebih parah yang dapat mengancam nyawa.

Tabel 1.1: Tabel stadium CKD

Stadium	LFG (mL/min/1.73 m ²)	Penjelasan
1	>89	LFG normal dengan proteinuria
2	60–89	LFG menurun dengan proteinuria
3	30–59	risiko gagal ginjal rendah
4	15–29	risiko gagal ginjal tinggi
5	<15	Gagal ginjal

Penyakit ginjal sendiri disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut di antaranya adalah diabetes, hipertensi, penyakit autoimun, infeksi saluran kemih, batu saluran kemih, penggunaan obat-obatan tertentu, dan faktor keturunan [6]. Penanganan CKD yang sudah parah(stadium tinggi) bisa dilakukan dengan dialisis atau transplantasi ginjal [3].

Menurut Buku “*Chronic Kidney Disease Diagnosis and Treatment*” yang dibuat oleh Junwei Yang, dan Weichun He [6], penanganan CKD membutuhkan biaya yang sangat besar. Pada negara dengan penghasilan rendah dan menengah, penanganan CKD dengan dialisis dan transplantasi menyebabkan beban keuangan yang sangat besar terhadap pasien. Pada 112 negara lainnya, banyak pasien yang tidak mampu melakukan pengobatan dialisis dengan jangka panjang. Di Uruguay,

¹Disease <https://www.merriam-webster.com/dictionary/disease> (terakhir diakses 30 Mei 2023)

biaya tahunan dialisis mendekati 30% dari dana negara untuk terapi khusus, sedangkan di Amerika Serikat (USA), biaya total untuk pengobatan CKD per tahunnya sudah melebihi \$48 triliun.

Jika CKD sudah terdiagnosis secara dini (saat stadium rendah), maka penanganan bisa dilakukan dengan cara terapi, mengobati penyakit bawaan CKD, dan mengubah pola hidup, seperti pola makan dan banyaknya olahraga [7]. Penanganan tersebut memiliki harga yang relatif lebih murah dibandingkan transplantasi ginjal dan dialisis. Jika CKD sudah terdeteksi dini, risiko nyawa yang ditanggung juga lebih kecil. Karenanya, sebaiknya penyakit ginjal dideteksi sedini mungkin agar dapat digunakan penanganan alternatif yang lebih murah, dan risiko nyawa yang ditanggung dapat diperkecil.

Salah satu metode untuk mendiagnosis CKD secara dini adalah dengan menggunakan LFG sebagai indikatornya, hanya saja, metode ini belum dapat mendiagnosis CKD stadium rendah secara akurat [8]. LFG tidak bisa dijadikan indikator untuk mendiagnosis CKD pada stadium rendah (stadium 1-2) secara akurat karena beberapa penyebab [9]. Penyebab pertama adalah karena diagnosis CKD pada stadium rendah lebih ditentukan oleh keberadaan kerusakan pada ginjal, serta faktor lain seperti albuminuria. Parameter yang dipakai untuk mengukur LFG, seperti umur, jenis kelamin, dan *creatinine* saja tidak cukup untuk mendiagnosis CKD pada stadium rendah. Penyebab kedua adalah karena penentuan batas LFG untuk stadium LFG pertama ($90 \text{ mL/min/1.73 m}^2$) dipercaya kurang akurat, karena hanya sebagian kecil populasi orang (sebagian besar laki-laki muda) yang memiliki LFG lebih dari 90. Lalu, penentuan nilai LFG sebagai batas antar stadium yang dilakukan secara biner juga mempengaruhi akurasi diagnosis, terutama untuk diagnosis CKD pada stadium 3.

Jumlah orang yang menderita CKD juga tidak sedikit. Menurut buku Chronic Kidney Disease (CKD) and Hypertension Essentials [10], pada saat buku tersebut dibuat (2011), terdapat lebih dari 26 juta (17% populasi) orang Amerika dewasa yang menderita CKD.

Terdapat manfaat yang bisa didapat jika CKD didiagnosis pada stadium awal (risiko nyawa rendah dan biaya penanganan murah). Karena itu, perlu dibuat sebuah sistem yang dapat membantu pihak medis untuk mendiagnosis penyakit ginjal secara dini. Harapannya adalah, lebih banyak nyawa dapat terselamatkan. Selain itu, pasien juga tidak perlu mengeluarkan terlalu banyak biaya untuk pengobatan untuk CKD tahap akhir, yaitu dialisis dan transplantasi ginjal. Salah satu penerapan sistem ini adalah dengan menggunakan *expert system*.

Expert System adalah program komputer yang meniru cara pengambilan keputusan manusia yang ahli dalam suatu bidang untuk menyelesaikan permasalahan kompleks pada bidang tersebut, dengan cara menerjemahkan pengetahuan manusia menjadi kumpulan peraturan jika maka [11]. Salah satu pemakaian *Expert system* adalah untuk memfasilitasi diagnosis medis, seperti diagnosis penyakit ginjal. Laith R. Fleaih dalam "*Expert System for Diagnosing Kidney Diseases*" [12] membangun sebuah *expert system* untuk mendiagnosis bermacam-macam penyakit ginjal. Cara kerja dari *expert system* yang dibuat oleh Laith adalah, pengguna memasukan *input* berupa gejala-gejala penyakit ginjal yang dialaminya, dengan mencentang pilihan *yes* atau *no* untuk setiap gejala penyakit ginjal yang diketahui oleh sistem. Lalu, sistem mendiagnosis penyakit yang dimiliki oleh pengguna, di mana jika lebih dari 89% gejala suatu penyakit ginjal dicentang *yes* oleh pengguna, maka pengguna didiagnosis memiliki penyakit ginjal tersebut. Dari makalah yang dibuat oleh Laith R. Fleaih, dapat disimpulkan bahwa *expert system* dapat dipakai untuk mendiagnosis penyakit ginjal.

Cara kerja *expert system* untuk diagnosis CKD yang telah dibangun adalah, pengguna sistem pertama memasukan data-data *input* yang diperlukan untuk diagnosis, berupa faktor-faktor yang berpengaruh terhadap CKD, seperti umur pasien, hasil pengukuran tekanan darah, dan lain-lain. Lalu *expert system* memproses *input* tersebut dengan kumpulan aturan jika maka-nya, dan akan mengeluarkan *output* berupa hasil diagnosis CKD. Perbedaan *expert system* yang dibangun oleh Laith, dan yang dibangun pada skripsi ini adalah, *expert system* yang dibangun oleh Laith menggunakan logika boolean, sedangkan yang dibangun pada skripsi ini menggunakan logika *fuzzy*. Selain itu, *expert system* yang dibangun oleh Laith ditujukan untuk mendiagnosis penyakit ginjal secara umum, sedangkan *fuzzy expert system* yang dibangun pada skripsi ini dikhususkan untuk

mendiagnosis CKD.

Pada umumnya *expert system* menggunakan logika boolean (*boolean logic*) sebagai peraturan jika maka-nya. Logika sendiri merupakan sebuah cara atau prinsip yang digunakan untuk menentukan cara berpikir yang salah dan benar [13]. Dalam logika, sebuah pernyataan, misalnya “orang itu sudah tua”, memiliki nilai kebenaran (benar atau salah). Logika boolean merupakan jenis logika di mana sebuah pernyataan hanya memiliki 2 kemungkinan nilai kebenaran, antara benar sepenuhnya, atau salah sepenuhnya, dan tidak ada nilai tengah. Jadi, kebenaran pernyataan “orang itu sudah tua” adalah antara benar sepenuhnya, atau salah sepenuhnya. Tidak bisa ada nilai tengah, seperti, agak benar, atau agak salah. Masalahnya adalah, untuk masalah sekompleks diagnosis CKD, penggunaan *boolean logic* akan menyebabkan pengambilan keputusan yang terlalu kaku/*rigid* [14]. Misalnya, jika umur seseorang lebih kecil dari 50, maka kemungkinan dia memiliki CKD kecil. Namun pada saat dia berumur tepat 50, kemungkinan orang tersebut memiliki CKD langsung menjadi besar. Untuk mengatasi permasalahan seperti ini, diperlukan aturan yang tidak bersifat kaku. Artinya, nilai kebenaran dari suatu pernyataan tidak selalu mutlak benar atau salah, namun ada tingkatan kebenaran di antaranya. Sebagai contoh, dimisalkan bahwa jika umur seseorang kurang dari 50, maka kemungkinan orang tersebut memiliki penyakit CKD adalah kecil. Dengan peraturan yang tidak bersifat kaku, maka pernyataan “seseorang yang berusia 49 tahun berisiko terkena CKD adalah kecil” memiliki nilai kebenaran yang mendekati salah. Karena itu, digunakan *fuzzy logic* sebagai logika yang dipakai untuk pengambilan keputusan *expert system* untuk diagnosis CKD. *Fuzzy logic* adalah sebuah cara menentukan kebenaran, di mana nilai kebenaran tidak ditentukan secara kaku, melainkan ada sebuah tingkatan/derajat untuk nilai kebenaran [14]. Pada *fuzzy logic*, sebuah pernyataan memiliki tingkatan atau derajat kebenarannya, sehingga sebuah pernyataan bisa saja setengahnya benar, atau satu perempatnya benar, dan seterusnya.

Fuzzy expert system adalah *expert system* yang tidak menggunakan logika boolean, namun menggunakan *fuzzy logic* untuk aturan pengambilan keputusannya [15]. Aturan pengambilan keputusan yang menggunakan *fuzzy logic* disebut *fuzzy rules*. Sebagai contoh, jika *expert system* menggunakan *boolean logic* untuk aturan pengambilan keputusannya, maka aturan pengambilan keputusan dapat ditulis seperti berikut:

$$IF \text{ food quality} = 89 \text{ THEN } tip = 89$$

$$IF \text{ service} = 20 \text{ OR } \text{ food quality} = 30 \text{ THEN } tip = 20$$

Lalu, aturan pengambilan keputusan *fuzzy expert system* dapat ditulis seperti berikut [16]:

$$IF \text{ food quality IS Delicious THEN } tip \text{ IS High}$$

$$IF \text{ service IS Bad OR } \text{ food quality IS Awful THEN } tip \text{ IS Low}$$

Untuk mengambil keputusan, *fuzzy expert system* menggunakan sistem inferensi *fuzzy*, yang merupakan proses pemetaan nilai *input* menjadi nilai *output* menggunakan *fuzzy logic* [17]. Sistem inferensi *fuzzy* terdiri dari tiga tahap, yaitu *fuzzification*, *fuzzy implication*, dan *defuzzification* [17]. Tahap *fuzzification* mengubah *input* pengguna dari bentuk *crisp* menjadi *fuzzy*. Lalu pada tahap *fuzzy implication*, diambil derajat kebenaran untuk setiap peraturan jika maka yang dipakai dalam sistem inferensi. Pada tahap *defuzzification*, diambil nilai akhir yang menjadi *output* dari *fuzzy expert system* berdasarkan hasil *fuzzy implication*. Se jauh penelitian yang dilakukan, terdapat tiga metode inferensi yang dapat dipakai pada *fuzzy inference system*, yaitu Inferensi Mamdani, Tsukamoto, dan Sugeno [17] [18] [19]. Ketiga metode inferensi ini memiliki perbedaan dalam bentuk aturan jika maka-nya, serta teknik *defuzzification* yang digunakan. Tabel 1.2 menunjukkan perbedaan ketiga metode inferensi tersebut.

Tabel 1.2: Tabel perbedaan antara teknik Inferensi Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto

	Mamdani	Sugeno	Tsukamoto
Bentuk aturan	Atribut konsekuen ditetapkan kepada himpunan	Konsekuen berbentuk fungsi linear	Atribut konsekuen ditetapkan kepada himpunan monoton
Teknik <i>Defuzzification</i>	<i>Center of Gravity</i> atau <i>Mean of Maximum</i>	<i>Weighted Average</i>	<i>Weighted Average</i>

Dalam makalah ilmiah *A Fuzzy Expert System for Heart Disease Diagnosis* [20] pada Jurnal *Lecture Notes in Engineering and Computer Science* yang dibuat oleh Ali Adeli, dan Mehdi Neshat, dibuat sebuah sistem yang dapat mendiagnosis penyakit jantung. Sistem ini diimplementasikan dalam bentuk *fuzzy expert system*. Pada sistem ini, diterima *input* berupa variabel-variabel yang berpengaruh terhadap penyakit jantung, yakni tekanan darah, kolestrol, gula darah, detak jantung pada saat beristirahat, jenis kelamin, *electrocardiography*, banyaknya olahraga, *old peak*, umur, dan hasil *scan* talium. Lalu sistem akan mengambil keputusan diagnosis penyakit jantung menggunakan peraturan pengambilan keputusan yang sudah dibuat sebagai bagian dari *fuzzy expert system*-nya, berdasarkan *input* yang sudah dimasukkan. Kinerja sistem lalu diuji oleh doktor dan ahli. Hasilnya adalah, sistem dapat mendiagnosis penyakit dengan tingkat akurasi 94%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada makalah ilmiah *A Fuzzy Expert System for Heart Disease Diagnosis* [20], dapat disimpulkan bahwa *fuzzy expert system* dapat mendiagnosis penyakit dengan kinerja yang sangat baik. Karenanya, sistem yang akan dibuat untuk diagnosis CKD juga akan diimplementasikan dalam bentuk *fuzzy expert system*.

Pada *fuzzy expert system* untuk diagnosis CKD, dibutuhkan *fuzzy rules* agar *fuzzy expert system* dapat mengambil keputusan diagnosis. Walaupun *fuzzy rules* ini dapat diterjemahkan dari pengalaman dan pengetahuan ahli ginjal secara langsung, pada skripsi ini, akan dibuat *fuzzy rules* menggunakan teknik pembangunan *fuzzy rules*. Salah satu teknik pembangunan *fuzzy rules* menggunakan metode bernama "*Fuzzy C Means-based clustering* yang dibantu oleh variabel pembantu" [21]. Teknik ini melibatkan beberapa persamaan matematika kompleks. Salah satu teknik lain, yang pada akhirnya digunakan, adalah teknik pembangunan *fuzzy rules* berdasarkan sebuah dataset. Teknik ini diusulkan oleh dua orang bernama Wang dan Mendel [22]. Dalam teknik yang diusulkan Wang dan Mendel, dibutuhkan sebuah dataset yang berisi atribut berupa faktor-faktor penyakit CKD serta atribut klasifikasi sakit atau tidaknya. Dari satu *record* data pada dataset dibentuk satu *fuzzy rule* yang nantinya dikumpulkan menjadi satu kumpulan aturan yang dinamakan *fuzzy rule base*. Ada beberapa dataset yang dapat digunakan untuk pembuatan *fuzzy rule base*. Salah satunya adalah dataset yang diambil dari data.world. Ada pula dataset lain yang dapat diambil dari [Kaggle](https://www.kaggle.com/). Karena dataset yang ada pada Kaggle lebih dapat dipahami, maka dataset yang pada akhirnya digunakan adalah dataset dari Kaggle.

Pada skripsi ini akan dibuat sebuah perangkat lunak berbasis *fuzzy expert system* yang dapat melakukan diagnosis penyakit CKD berdasarkan *input* yang dimasukkan. *Input* yang dimasukkan adalah berupa jumlah/ukuran dari variabel-variabel yang sudah ditentukan menjadi faktor pengaruh CKD. Karena itu, pada skripsi ini juga akan dipilih variabel-variabel yang menjadi faktor terjadinya CKD untuk *input expert system*. Dari semua data yang dimasukkan, sistem lalu menentukan apakah pasien memiliki penyakit CKD atau tidak, menggunakan aturan pengambilan keputusan *expert system* yang sudah didefinisikan pada saat pembangunan sistem. Metode inferensi dari sistem inferensi *fuzzy* yang digunakan pada skripsi ini adalah Metode Inferensi Mamdani dan Tsukamoto. Pada skripsi ini juga, akan dibandingkan kinerja antara *fuzzy expert system* yang menggunakan Metode Inferensi Mamdani dan Tsukamoto.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari skripsi ini adalah sebagai berikut:

- Apa saja variabel/faktor yang berpengaruh terhadap meningkatnya risiko CKD?
- Bagaimana Metode Inferensi Mamdani dan Tsukamoto dapat digunakan dalam sebuah *expert system* untuk diagnosis CKD?
- Bagaimana caranya membangun sebuah perangkat lunak berbasis *fuzzy expert system* yang dapat mendiagnosis CKD?
- Bagaimana perbandingan kinerja *fuzzy expert system* dengan Metode Inferensi Tsukamoto dan Mamdani yang dibangun dalam melakukan diagnosis CKD?

1.3 Tujuan

Tujuan dari skripsi ini adalah sebagai berikut:

- Mempelajari faktor-faktor yang berpengaruh terhadap meningkatnya risiko CKD.
- Mempelajari cara implementasi Metode Inferensi Mamdani dan Tsukamoto pada *expert system* untuk diagnosis CKD.
- Mempelajari cara membangun *fuzzy expert system* untuk diagnosis CKD.
- Menguji dan membandingkan kinerja *fuzzy expert system* dengan Metode Inferensi Tsukamoto dan Mamdani yang dibangun dalam diagnosis CKD yang dilakukannya.

1.4 Batasan Masalah

Berikut adalah batasan permasalahan dari skripsi ini:

- Fokus utama pembangunan *fuzzy expert system* dalam penelitian ini adalah mengetahui kinerja sistem tersebut. Sehingga efisiensi, dan kecepatan sistem dalam melakukan fungsinya bukan merupakan hal yang difokuskan.
- Dataset yang digunakan untuk membuat *fuzzy rules* dan menguji kinerja *fuzzy expert system* yang dibuat diambil dari link <https://www.kaggle.com/datasets/mansoordaku/ckdisease>. Hal ini dikarenakan atribut-atribut dataset tersebut lebih dapat dimengerti dibandingkan atribut pada dataset data.world.
- *Fuzzy rules* dibentuk hanya dengan menggunakan metode Wang dan Mendel, dari dataset pada poin ketiga.

1.5 Metodologi

Metodologi yang dilakukan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan studi pustaka untuk mempelajari variabel-variabel yang menjadi faktor CKD.
2. Melakukan studi pustaka untuk mempelajari *fuzzy logic*.
3. Melakukan studi pustaka untuk mempelajari *expert system*.
4. Melakukan studi pustaka untuk mempelajari *fuzzy expert system*.
5. Melakukan studi literatur serta melakukan analisis terhadap dataset mengenai CKD yang dimiliki untuk mengetahui aturan pengambilan keputusan *expert sysyem* untuk diagnosis CKD.
6. Merancang perangkat lunak *fuzzy expert system* untuk diagnosis CKD.
7. Membangun perangkat lunak *fuzzy expert system* untuk diagnosis CKD.
8. Melakukan pengujian perangkat lunak yang dibuat.
9. Menganalisis hasil kinerja dari perangkat lunak *fuzzy expert system* untuk diagnosis CKD yang dibuat.
10. Menulis dokumen.