

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

Penelitian mengenai penerapan logika fuzzy dalam sistem pendukung keputusan telah banyak dilakukan pada berbagai domain, termasuk kesehatan, pendidikan, industri, dan rekayasa perangkat lunak. Metode Fuzzy Tsukamoto dan Fuzzy Sugeno sering digunakan karena kemampuannya dalam menangani ketidakpastian dan menghasilkan keluaran numerik yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan.

Penelitian yang dilakukan oleh Pratama, Triayudi, dan Gunawan membahas penerapan metode Fuzzy Tsukamoto dan Fuzzy Sugeno dalam mendiagnosis tingkat kecanduan bermain game online. Pada penelitian tersebut, metode Tsukamoto digunakan untuk menghasilkan output berupa nilai tegas (crisp) melalui perhitungan rata-rata terbobot dari seluruh aturan yang aktif, sedangkan metode Sugeno menghasilkan nilai berbentuk konstanta yang digunakan sebagai pembanding. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua metode mampu memberikan hasil diagnosis yang akurat, dengan perbedaan nilai keluaran yang dipengaruhi oleh karakteristik metode yang digunakan.

Penelitian lain oleh Nugraha Hidayat membandingkan metode Fuzzy Sugeno dan Fuzzy Tsukamoto dalam menjaga stabilitas temperatur pada sistem kontrol. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode Sugeno lebih responsif terhadap perubahan input karena menggunakan fungsi linear, sementara metode Tsukamoto menghasilkan nilai yang lebih stabil akibat sifat monoton pada fungsi keanggotaannya.

Dalam bidang sistem pendukung keputusan, Nugraha dkk. menerapkan metode Fuzzy Tsukamoto untuk menentukan kelayakan penerimaan jurnal ilmiah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Tsukamoto mampu memberikan keputusan yang konsisten dan mudah diinterpretasikan oleh pengguna, karena keluaran sistem berupa nilai numerik yang langsung dipetakan ke dalam kategori keputusan.

Beberapa penelitian lain juga menunjukkan bahwa metode Fuzzy Sugeno banyak digunakan pada sistem pendukung keputusan yang memerlukan perhitungan cepat dan sederhana, seperti penilaian kinerja, pemilihan supplier, serta evaluasi kelayakan. Namun,

sebagian besar penelitian tersebut hanya menggunakan satu metode fuzzy, sehingga belum memberikan gambaran perbandingan yang komprehensif antar metode.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode Fuzzy Tsukamoto dan Fuzzy Sugeno memiliki kelebihan masing-masing. Namun, penelitian yang mengintegrasikan kedua metode tersebut dalam konteks evaluasi readiness deployment aplikasi Bank XYZ berbasis checklist Quality Assurance masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada integrasi dan perbandingan kedua metode untuk memberikan rekomendasi keputusan yang lebih objektif dan komprehensif.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Quality Assurance (QA)*

Quality Assurance (QA) merupakan serangkaian aktivitas terencana dan sistematis yang bertujuan untuk memastikan bahwa perangkat lunak yang dikembangkan memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan. QA tidak hanya berfokus pada proses pengujian (testing), tetapi mencakup seluruh siklus pengembangan perangkat lunak, mulai dari perencanaan, implementasi, hingga pemeliharaan (Pressman & Maxim, 2015).

Menurut Sommerville (2016), Quality Assurance berperan penting dalam menjamin bahwa perangkat lunak yang dihasilkan memiliki tingkat keandalan, kinerja, dan kegunaan yang sesuai dengan kebutuhan pengguna. Oleh karena itu, QA menjadi tahapan krusial sebelum perangkat lunak dinyatakan layak untuk digunakan atau di-deploy ke lingkungan produksi.

2.2.2 *Checklist Quality Assurance*

Dalam praktik Quality Assurance, penggunaan checklist merupakan pendekatan yang umum digunakan untuk memastikan bahwa seluruh aspek pengujian dilakukan secara konsisten dan sistematis. Checklist QA berfungsi sebagai panduan bagi tim pengujian untuk memverifikasi bahwa setiap kriteria kualitas telah diuji dan dievaluasi sebelum perangkat lunak dinyatakan siap untuk digunakan (ISTQB, 2018).

Checklist QA membantu mengurangi kesalahan manusia (human error), meningkatkan konsistensi proses pengujian, serta memastikan bahwa aspek fungsional dan non-fungsional perangkat lunak telah diperiksa secara menyeluruh. Pendekatan ini juga sejalan dengan standar kualitas perangkat lunak internasional yang direkomendasikan dalam ISO/IEC 25010:2011.

2.2.3 Item Checklist Quality Assurance dalam Penentuan Readiness Deployment

Berdasarkan literatur Quality Assurance dan praktik pengujian perangkat lunak, penelitian ini menggunakan lima item utama dalam checklist QA, yaitu error handling, multi-platform testing, performance testing, defect handling, dan User Acceptance Test (UAT). Pemilihan kelima item tersebut didasarkan pada pertimbangan bahwa aspek-aspek tersebut merupakan indikator utama yang secara langsung mempengaruhi kesiapan aplikasi sebelum dilakukan deployment ke lingkungan produksi.

Error handling digunakan untuk memastikan bahwa aplikasi mampu menangani kesalahan dengan baik tanpa menyebabkan kegagalan sistem secara keseluruhan (Pressman & Maxim, 2015).

Multi-platform testing bertujuan untuk memastikan bahwa aplikasi dapat berjalan secara konsisten pada berbagai platform, sejalan dengan karakteristik compatibility dalam ISO/IEC 25010.

Performance testing digunakan untuk mengukur kemampuan aplikasi dalam menangani beban kerja tertentu dan menjaga stabilitas sistem (Sommerville, 2016).

Defect handling berkaitan dengan proses identifikasi dan penyelesaian cacat perangkat lunak selama pengujian. User Acceptance Test (UAT) merupakan tahap pengujian akhir yang dilakukan oleh pengguna untuk memastikan aplikasi telah memenuhi kebutuhan bisnis dan fungsional (ISTQB, 2018).

Pemilihan lima variabel dalam checklist Quality Assurance pada penelitian ini dilakukan berdasarkan pertimbangan konseptual dan metodologis yang relevan dengan konteks readiness deployment aplikasi Bank XYZ. Variabel error handling dan User Acceptance Test (UAT) merepresentasikan aspek fungsionalitas dan validasi kebutuhan

pengguna, sementara performance testing dan multi-platform testing merepresentasikan aspek non-fungsional yang berkaitan dengan kinerja serta kompatibilitas sistem. Variabel defect handling merepresentasikan tingkat stabilitas dan penyelesaian cacat perangkat lunak sebelum implementasi di lingkungan production. Kelima variabel tersebut dinilai cukup representatif dalam menggambarkan kesiapan aplikasi dengan mengacu pada praktik Quality Assurance serta karakteristik kualitas perangkat lunak dalam ISO/IEC 25010. Pembatasan pada lima variabel juga bertujuan untuk menjaga keterukuran model, menghindari kompleksitas aturan yang berlebihan pada sistem inferensi fuzzy, serta memastikan bahwa model yang dikembangkan tetap terstruktur, efisien, dan aplikatif dalam mendukung pengambilan keputusan deployment.

2.2.4 Logika Fuzzy

Logika fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh sebagai pendekatan untuk merepresentasikan ketidakpastian dan ketidaktegasan dalam proses pengambilan keputusan. Berbeda dengan logika tegas yang hanya mengenal nilai benar atau salah, logika fuzzy memungkinkan suatu elemen memiliki derajat keanggotaan pada rentang nilai antara 0 hingga 1. Pendekatan ini dinilai lebih sesuai untuk memodelkan permasalahan dunia nyata yang bersifat kompleks dan ambigu, terutama pada sistem pendukung keputusan yang melibatkan penilaian subjektif manusia (Hong Lan et al., 2020; Furizal et al., 2024).

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

Dimana:

$\mu_A(x)$: derajat keanggotaan elemen x pada himpunan fuzzy A

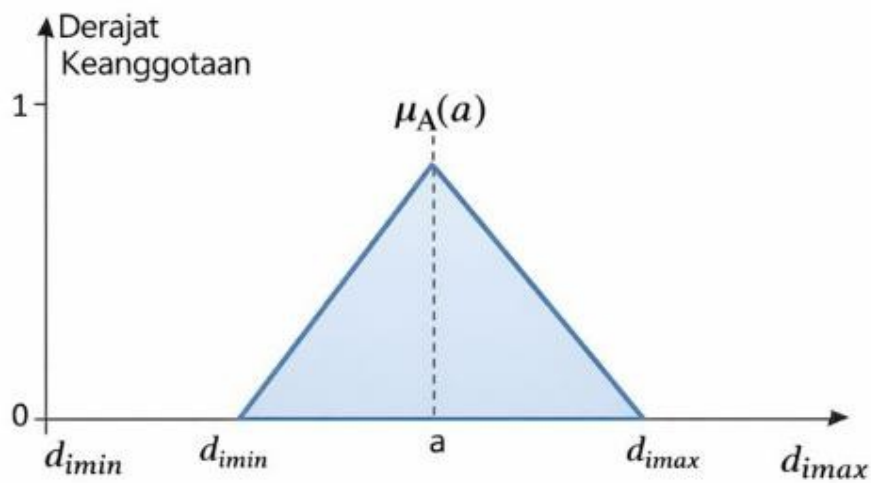
x : nilai input

$[0,1]$: rentang derajat keanggotaan

Table 2. 1 Perbandingan Logika Tegas – Logika Fuzzy

Aspek Perbandingan	Logika Tegas (Crips)	Logika Fuzzy
Nilai kebenaran	0 atau 1	Renta 0-1
Sifat keanggotaan	Mutlak	Bertingkat
Representasi Ketidakpastian	Tidak ada	Ada
Kesesuaian Sistem Nyata	Terbatas	Tinggi
Penggunaan dalam SPK	Rendah	Tinggi

Gambar 2. 1 Fuzzy membership function program (Rahakbauw, 2015)



Kurva fungsi keanggotaan fuzzy pada Gambar 2.2 menunjukkan hubungan antara nilai input tegas dengan derajat keanggotaan suatu elemen dalam sebuah himpunan fuzzy. Sumbu horizontal (X) merepresentasikan nilai input, sedangkan sumbu vertikal (Y) menunjukkan derajat keanggotaan yang bernilai antara 0 hingga 1. Kurva berbentuk segitiga digunakan untuk menggambarkan perubahan derajat keanggotaan secara bertahap terhadap nilai input.

Pada kurva tersebut, nilai d_{imin} dan d_{imax} merupakan batas bawah dan batas atas dari domain nilai input. Ketika nilai input berada di bawah d_{imin} atau di atas d_{imax} , derajat keanggotaannya bernilai 0, yang berarti nilai tersebut tidak termasuk dalam himpunan

fuzzy yang dimaksud. Nilai a merupakan titik puncak kurva, di mana derajat keanggotaan mencapai nilai maksimum, yaitu 1, yang menunjukkan tingkat keanggotaan penuh terhadap himpunan fuzzy.

Apabila nilai input berada di antara d_{imin} dan a , derajat keanggotaan meningkat secara linier dari 0 menuju 1. Sebaliknya, ketika nilai input berada di antara a dan d_{imax} , derajat keanggotaan menurun secara linier dari 1 menuju 0. Pola kenaikan dan penurunan ini mencerminkan sifat gradual pada logika fuzzy, di mana suatu nilai tidak langsung diklasifikasikan secara mutlak, melainkan memiliki tingkat keanggotaan tertentu.

Penggunaan fungsi keanggotaan berbentuk segitiga dipilih karena memiliki struktur yang sederhana, mudah diimplementasikan, serta cukup efektif dalam merepresentasikan ketidakpastian pada data. Dalam penelitian ini, kurva fungsi keanggotaan digunakan untuk memodelkan tingkat kesiapan setiap item checklist Quality Assurance pada proses evaluasi readiness deployment aplikasi, sehingga penilaian dapat dilakukan secara lebih fleksibel dan mendekati cara berpikir manusia.

2.2.5 Himpunan Logika Fuzzy

Himpunan fuzzy memiliki dua atribut, yaitu linguistik dan numeris. Atribut linguistik adalah atribut yang digunakan untuk penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti muda, parobaya, tua, sedangkan atribut numeris adalah suatu nilai yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel (Wardani et al., 2017).

Himpunan fuzzy didasarkan pada gagasan untuk memperluas jangkauan fungsi karakteristik sedemikian hingga fungsi tersebut akan mencakup bilangan real pada interval $[0,1]$. Nilai keanggotaannya menunjukkan bahwa suatu item tidak hanya bernilai benar atau salah. Nilai 0 menunjukkan salah, nilai 1 menunjukkan benar, dan masih ada nilai-nilai yang terletak antara benar dan salah (Saelan, 2009).

Table 2. 2 Himpunan Logika Fuzzy (Saelan, 2009; Rahakbauw, 2015)

Komponen	Deskripsi
Variabel	Besaran yang dinilai dalam sistem
Domain	Rentang nilai variabel
Himpunan Fuzzy	Kelompok linguistik (LOW, MEDIUM, HIGH)
Nilai Linguistik	Representasi bahasa alami
Derajat Keanggotaan	Nilai keanggotaan dalam rentang [0,1]

Rumus untuk mendefinikan himpunan fuzzy:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (2)$$

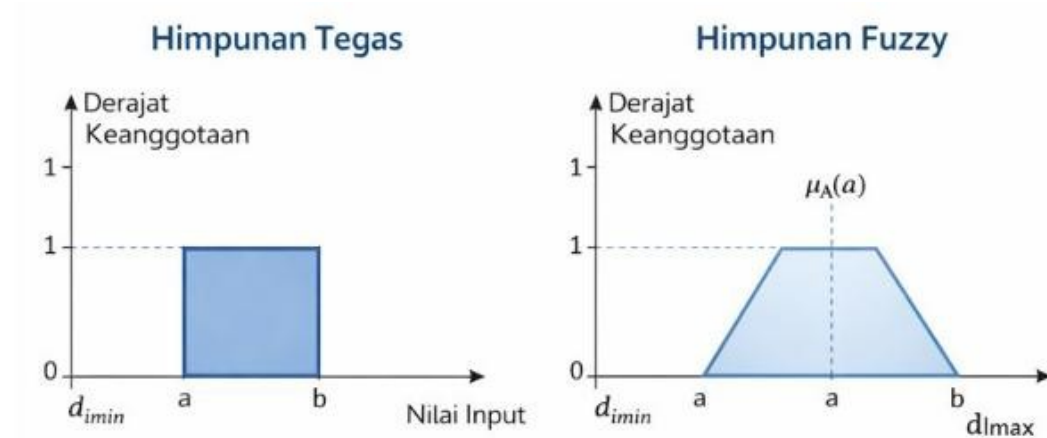
Dimana:

A : himpunan fuzzy

x : elemen pada semesta pembicaraan

$\mu_A(x)$: derajat keanggotaan elemen

Gambar 2. 2 Perbedaan himpunan Tegas dan Fuzzy (Zadeh,1965)



Gambar 2.2 menunjukkan perbedaan mendasar antara konsep himpunan tegas (crisp set) dan himpunan fuzzy (fuzzy set) dalam merepresentasikan keanggotaan suatu nilai terhadap sebuah himpunan. Pada bagian kiri gambar ditunjukkan himpunan tegas, sedangkan pada bagian kanan ditunjukkan himpunan fuzzy.

Pada himpunan tegas, derajat keanggotaan suatu nilai bersifat biner, yaitu hanya bernilai 0 atau 1. Nilai input yang berada di dalam interval tertentu memiliki derajat keanggotaan penuh, sedangkan nilai di luar interval tersebut tidak termasuk dalam himpunan. Perubahan keanggotaan terjadi secara tegas pada batas tertentu, sehingga tidak memberikan ruang bagi nilai yang berada di sekitar batas untuk memiliki keanggotaan parsial.

Berbeda dengan himpunan tegas, himpunan fuzzy memungkinkan suatu nilai memiliki derajat keanggotaan dalam rentang 0 hingga 1. Pada gambar ditunjukkan kurva keanggotaan berbentuk trapesium yang menggambarkan perubahan keanggotaan secara bertahap. Nilai input mulai memiliki derajat keanggotaan ketika melewati batas bawah, kemudian meningkat hingga mencapai keanggotaan maksimum pada rentang tertentu, dan selanjutnya menurun kembali hingga bernilai nol pada batas atas. Pendekatan ini memberikan fleksibilitas dalam merepresentasikan kondisi yang bersifat samar atau tidak pasti.

Perbedaan karakteristik tersebut menunjukkan bahwa logika fuzzy lebih mampu merepresentasikan ketidakpastian dan ambiguitas dibandingkan logika tegas. Oleh karena itu, penggunaan himpunan fuzzy lebih sesuai diterapkan pada sistem pendukung keputusan yang melibatkan penilaian berbasis bahasa alami dan subjektivitas manusia, termasuk dalam proses evaluasi kesiapan deployment aplikasi berbasis checklist Quality Assurance.

2.2.6 Operator Dasar Himpunan Fuzzy

Untuk operasi himpunan *fuzzy* seperti halnya himpunan konvensional, ada beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasi dan memodifikasi himpunan *fuzzy*. Nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi 2 himpunan.

Seiring dikenal dengan nama *fire strength*. Ada 3 operator dasar yang diciptakan oleh Zadeh. Tetapi operator yang digunakan pada penelitian ini yaitu Operator *AND* sebagai berikut (Setiawan et al., 2018) :

- a. Operator *AND*, operator ini berhubungan dengan operasi interseksi pada himpunan. *Fire strength* sebagai hasil operasi dengan operator *AND* diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (3)$$

Operator *AND* merepresentasikan operasi irisan pada himpunan fuzzy, di mana derajat keanggotaan hasil diperoleh dari nilai minimum derajat keanggotaan masing-masing himpunan.

- b. Operator *OR*, operator ini berhubungan dengan operasi union pada himpunan. *Fire strength* sebagai hasil operasi dengan operator *OR* diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (4)$$

Operator *OR* merepresentasikan operasi gabungan pada himpunan fuzzy dengan mengambil nilai maksimum dari derajat keanggotaan yang terlibat.

- c. Operator *NOT*, *Fire Strength* sebagai hasil operasi dengan operator *NOT* diperoleh dengan mengurangi nilai keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan dari 1.

$$\mu_{A'} = 1 - \mu_A(x) \quad (5)$$

Operator *NOT* digunakan untuk merepresentasikan komplemen suatu himpunan fuzzy dengan cara mengurangi nilai derajat keanggotaan dari satu.

Gambar 2. 3 Alur Proses Sistem Inferensi Fuzzy (Hong Lan et al., 2020)



Gambar 2.3 menunjukkan alur proses sistem inferensi fuzzy yang terdiri atas beberapa tahapan utama, yaitu input, fuzzifikasi, pembentukan basis aturan (rule base), inferensi, dan defuzzifikasi. Proses diawali dengan memasukkan data input berupa variabel-variabel yang akan dievaluasi. Pada tahap fuzzifikasi, nilai input crisp dikonversi menjadi derajat keanggotaan dalam himpunan fuzzy sesuai dengan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Selanjutnya, nilai derajat keanggotaan tersebut diproses menggunakan basis aturan (rule base) yang berisi sejumlah aturan logika berbentuk IF-THEN. Tahap inferensi berfungsi untuk menentukan tingkat aktivasi setiap aturan berdasarkan operator logika fuzzy yang digunakan. Hasil inferensi kemudian digabungkan dan diproses melalui tahap defuzzifikasi untuk menghasilkan nilai keluaran akhir dalam bentuk crisp yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan. Alur ini menunjukkan bahwa sistem inferensi fuzzy mampu mengolah ketidakpastian data menjadi keputusan yang lebih fleksibel dan terukur.

2.2.7 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan digunakan untuk merepresentasikan hubungan antara nilai input tegas dengan derajat keanggotaan suatu himpunan fuzzy. Fungsi ini menentukan sejauh mana suatu nilai numerik dapat dikategorikan ke dalam label linguistik tertentu, seperti rendah, sedang, atau tinggi, dengan rentang nilai keanggotaan antara 0 sampai 1. Pemilihan bentuk fungsi keanggotaan berpengaruh langsung terhadap hasil inferensi fuzzy, karena fungsi ini menjadi dasar dalam proses fuzzifikasi sebelum evaluasi aturan dilakukan (Saelan, 2009; Rahakbauw, 2015).

Ada beberapa fungsi yang digunakan yaitu (Rahakbauw, 2015) :

1. Representasi Kurva Bahu Representasi kurva bahu digunakan untuk mengakhiri variabel suatu daerah.
2. Representasi Kurva Segitiga Representasi kurva segitiga, pada dasarnya adalah gabungan antara dua representasi linear (representasi linear naik dan representasi linear turun).

Fungsi keanggotaan digunakan untuk memetakan nilai input ke dalam derajat keanggotaan pada suatu himpunan fuzzy. Fungsi ini menentukan bagaimana suatu nilai numerik dapat dikategorikan ke dalam label linguistik tertentu.

Beberapa bentuk fungsi keanggotaan yang umum digunakan antara lain fungsi segitiga (triangular) dan fungsi trapesium (trapezoidal). Fungsi segitiga digunakan karena bentuknya sederhana dan mudah diimplementasikan, sedangkan fungsi trapesium memberikan fleksibilitas lebih pada rentang nilai keanggotaan tertentu. Dalam penelitian ini, fungsi keanggotaan digunakan untuk merepresentasikan tingkat kesiapan setiap item checklist QA pada rentang nilai 0 sampai 1.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \\ 0, & x \geq c \end{cases} \quad (6)$$

Fungsi keanggotaan segitiga digunakan untuk memetakan nilai input tegas ke dalam derajat keanggotaan suatu himpunan fuzzy secara bertahap. Fungsi ini didefinisikan oleh tiga parameter, yaitu a, b, dan c, yang masing-masing merepresentasikan batas bawah, titik puncak, dan batas atas dari himpunan fuzzy. Nilai a dan c menunjukkan titik di mana derajat keanggotaan bernilai nol, sedangkan nilai b merupakan titik di mana derajat keanggotaan mencapai nilai maksimum, yaitu satu.

Secara matematis, fungsi keanggotaan segitiga dibentuk oleh dua garis linier, yaitu garis dengan kemiringan positif pada interval antara a dan b, serta garis dengan kemiringan negatif pada interval antara b dan c. Ketika nilai input berada di bawah a atau di atas c, derajat keanggotaan bernilai nol karena nilai tersebut tidak termasuk dalam himpunan fuzzy. Apabila nilai input berada di antara a dan b, derajat keanggotaan meningkat secara linier dari nol menuju satu. Sebaliknya, ketika nilai input berada di antara b dan c, derajat keanggotaan menurun secara linier dari satu menuju nol.

Penggunaan fungsi keanggotaan segitiga dipilih karena memiliki bentuk yang sederhana dan mudah diimplementasikan, serta mampu merepresentasikan perubahan keanggotaan secara jelas dan intuitif. Dalam penelitian ini, fungsi keanggotaan segitiga digunakan pada tahap fuzzifikasi untuk mengubah nilai input checklist Quality Assurance menjadi derajat keanggotaan fuzzy sebelum dilakukan proses inferensi

2.2.8 Sistem Inferensi Fuzzy

Sistem inferensi fuzzy merupakan mekanisme penalaran yang digunakan untuk memproses input berbasis logika fuzzy menjadi suatu keluaran yang dapat digunakan dalam pengambilan keputusan. Sistem ini bekerja dengan meniru cara berpikir manusia melalui seperangkat aturan berbentuk IF–THEN yang disusun berdasarkan pengetahuan . Dalam sistem inferensi fuzzy, nilai input tegas terlebih dahulu dikonversi ke dalam bentuk derajat keanggotaan melalui proses fuzzifikasi, sebelum selanjutnya diproses pada tahap evaluasi aturan (Saelan, 2009; Nugraha et al., 2019).

Proses evaluasi aturan dilakukan dengan mengombinasikan derajat keanggotaan dari setiap variabel menggunakan operator fuzzy yang sesuai, sehingga diperoleh nilai kekuatan aturan atau α -predikat. Nilai ini kemudian digunakan pada tahap defuzzifikasi untuk menghasilkan nilai keluaran tegas yang merepresentasikan keputusan sistem. Pendekatan sistem inferensi fuzzy banyak diterapkan pada sistem pendukung keputusan karena mampu menangani ketidakpastian data serta menghasilkan keluaran yang lebih fleksibel dan mudah diinterpretasikan dibandingkan pendekatan logika tegas (Hong Lan et al., 2020; Pattiradjawane, 2024)

Table 2. 3 Tahapan sistem inferensi fuzzy (Saelan, 2009)

Tahap	Fungsi
Fuzzifikasi	Mengubah input tegas menjadi nilai fuzzy
Basis Aturan	Menyimpan aturan IF–THEN
Mesin Inferensi	Mengevaluasi aturan fuzzy
Defuzzifikasi	Menghasilkan output tegas

2.2.9 Metode Sugeno

Dalam metode Fuzzy Sugeno merupakan salah satu metode inferensi fuzzy yang menghasilkan keluaran berupa nilai tegas dalam bentuk konstanta atau fungsi linear. Berbeda dengan metode fuzzy yang menghasilkan keluaran berupa himpunan fuzzy, pada metode Sugeno konsekuensi dari setiap aturan IF–THEN dinyatakan secara langsung dalam bentuk persamaan matematis. Pendekatan ini membuat metode Sugeno lebih sederhana dalam proses defuzzifikasi dan efisien secara komputasi, terutama pada sistem yang memerlukan perhitungan cepat dan stabil (Pattiradjawane, 2024; Furizal et al., 2024).

Nilai keluaran pada metode Fuzzy Sugeno diperoleh melalui perhitungan rata-rata terbobot dari seluruh aturan yang aktif, di mana bobot ditentukan oleh nilai α -predikat masing-masing aturan. Karakteristik ini menyebabkan metode Sugeno lebih responsif terhadap perubahan nilai input, sehingga cocok digunakan pada sistem pendukung keputusan yang memerlukan sensitivitas tinggi terhadap variasi data. Dalam penelitian ini, metode Fuzzy Sugeno digunakan sebagai salah satu pendekatan untuk mengevaluasi tingkat kesiapan deployment aplikasi berdasarkan data checklist Quality Assurance (Pratama et al., 2023; Pattiradjawane, 2024).

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i z_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad (7)$$

Dimana

Z: nilai keluaran tegas

α_i : nilai α -predikat aturan ke-i

z_i : nilai konsekuensi aturan ke-i

Table 2. 4 Karakteristik metode Fuzzy Sugeno (Pattiradjawane, 2024)

Aspek	Metode Sugeno
Bentuk Output	Konstanta / fungsi linear
Defuzzifikasi	Rata-rata terbobot
Kompleksitas	Rendah
Respons terhadap input	Tinggi

Dalam penelitian ini, metode Fuzzy Sugeno digunakan untuk mendukung proses evaluasi readiness deployment aplikasi Bank XYZ dengan menghasilkan keluaran berupa nilai tegas berbentuk konstanta atau fungsi linear. Pendekatan ini dipilih karena memiliki kestabilan komputasi yang baik serta lebih mudah diintegrasikan ke dalam sistem pendukung keputusan berbasis perangkat lunak. Penggunaan metode Sugeno bertujuan untuk memperoleh hasil evaluasi yang konsisten dan efisien dalam memproses data checklist Quality Assurance yang bersifat dinamis.

2.2.10 Metode Tsukamoto

Metode Fuzzy Tsukamoto merupakan salah satu metode inferensi dalam sistem logika fuzzy yang menghasilkan keluaran berupa nilai tegas (crisp) melalui aturan yang memiliki konsekuensi dengan fungsi keanggotaan monoton (Tsukamoto, 1979). Pada metode ini, setiap aturan berbentuk IF–THEN direpresentasikan dalam himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang bersifat monoton, sehingga setiap aturan menghasilkan nilai keluaran tegas berdasarkan nilai α -predikat dari masing-masing rule (Kusumadewi & Purnomo, 2010).

Proses inferensi pada metode Tsukamoto meliputi tahapan fuzzifikasi, pembentukan basis aturan (rule base), evaluasi aturan menggunakan operator logika fuzzy (umumnya operator MIN untuk AND), serta defuzzifikasi menggunakan metode rata-rata terbobot (weighted average). Nilai akhir keluaran diperoleh dari perhitungan rata-rata terbobot seluruh nilai crisp yang dihasilkan oleh masing-masing aturan, dengan bobot berupa nilai α -predikat (Zimmermann, 2010).

Table 2. 5 Karakteristik metode Fuzzy Tsukamoto (Nugraha et al., 2019)

Aspek	Metode Tsukamoto
Bentuk Output	Nilai crisp
Konsekuensi Aturan	Fungsi monoton
Defuzzifikasi	Rata-rata terbobot
Stabilitas	Tinggi

Defuzzifikasi merupakan tahap terakhir yang bertujuan untuk mendapatkan nilai tegas pada domain (Nurhidayah et al., 2022).

Dengan menggunakan metode rata-rata :

$$Z = \frac{\sum_i^n \alpha_i z_i}{\sum_i^n \alpha_i} \quad (8)$$

Dengan :

Z = Variabel *output*

α_i = Nilai α -predikat

z_i = Nilai variabel *output*

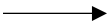
Dalam konteks penelitian ini, metode Fuzzy Tsukamoto digunakan untuk menghasilkan nilai keputusan readiness deployment berdasarkan aturan yang bersifat monoton, sehingga setiap rule menghasilkan keluaran crisp yang dapat ditelusuri kontribusinya terhadap hasil akhir. Pendekatan ini memberikan transparansi dalam proses pengambilan keputusan serta memungkinkan analisis yang lebih terstruktur terhadap pengaruh masing-masing variabel checklist Quality Assurance. Dengan demikian, metode Tsukamoto digunakan untuk memberikan alternatif evaluasi yang dapat dibandingkan dengan metode Sugeno dalam menentukan tingkat kesiapan deployment aplikasi.

2.2.11 Diagram Alir (Flowchart)

Flowchart merupakan representasi grafis yang digunakan untuk menggambarkan alur proses, urutan kegiatan, serta hubungan logis antar langkah dalam suatu sistem atau algoritma. Flowchart disusun menggunakan simbol-simbol standar untuk merepresentasikan proses, input/output, keputusan, dan alur kendali, sehingga mampu menyajikan proses sistem secara terstruktur dan mudah dipahami. Dalam pengembangan sistem informasi dan sistem pendukung keputusan, flowchart berperan sebagai alat bantu analisis dan perancangan yang memudahkan pengembang dalam memahami alur kerja sistem, mengidentifikasi potensi kesalahan logika, serta memastikan bahwa proses yang dirancang telah sesuai dengan kebutuhan sistem sebelum tahap implementasi dilakukan.

(Pressman & Maxim, 2015). Pada umumnya standar simbol-simbol yang digunakan pada flowchart seperti

Table 2. 6 Simbol-Simbol Flowchart

Simbol	Definisi
	Terminal merepresentasikan awal dan akhir sebuah proses
	Input/Output merepresentasikan untuk operasi masukan/keluaran data
	Process merepresentasikan operasi pemrosesan oleh komputer
	Predefined Process menunjuk proses yang sudah didefinisikan di tempat lain
	Flow Line (Arrow) untuk menghubungkan simbol serta menunjukkan arah alur
	Document (I/O Dokumen) merepresentasikan input dari dokumen atau keluaran ke dokumen
	Decision (Diamond) untuk menentukan proses atau aksi selanjutnya
	On-page Connector (Circle) guna untuk menyambung bagian flowchart pada halaman yang sama
	Off-page Connector (Home-plate) untuk menyambung flowchart ke halaman lain

2.2.12 Metode CRISP-DM

CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining) merupakan kerangka kerja standar yang digunakan secara luas dalam pengembangan proyek berbasis analisis data dan pemodelan. Metodologi ini dikembangkan pada akhir tahun 1990-an sebagai pendekatan sistematis untuk memastikan bahwa proses analisis data dilakukan secara terstruktur, terarah, dan selaras dengan kebutuhan bisnis (Chapman et al., 2000). Meskipun awalnya diperkenalkan untuk proyek data mining, CRISP-DM telah banyak

diadopsi dalam penelitian dan pengembangan sistem berbasis analisis data karena fleksibilitas dan sifatnya yang iteratif.

CRISP-DM terdiri dari enam tahapan utama yang saling berkaitan, yaitu:

Business Understanding

Tahap ini bertujuan untuk memahami permasalahan bisnis, menetapkan tujuan penelitian, serta mendefinisikan kebutuhan yang ingin dicapai melalui pengembangan model.

Data Understanding

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dan eksplorasi data untuk memahami karakteristik, struktur, serta kualitas data yang akan digunakan dalam proses pemodelan.

Data Preparation

Tahap ini mencakup proses seleksi, pembersihan, transformasi, dan normalisasi data agar siap digunakan dalam proses analisis dan pemodelan.

Modeling

Pada tahap ini dilakukan pemilihan teknik analisis serta pembangunan model berdasarkan data yang telah dipersiapkan.

Evaluation

Model yang telah dibangun kemudian dievaluasi untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh sesuai dengan tujuan penelitian dan kebutuhan bisnis.

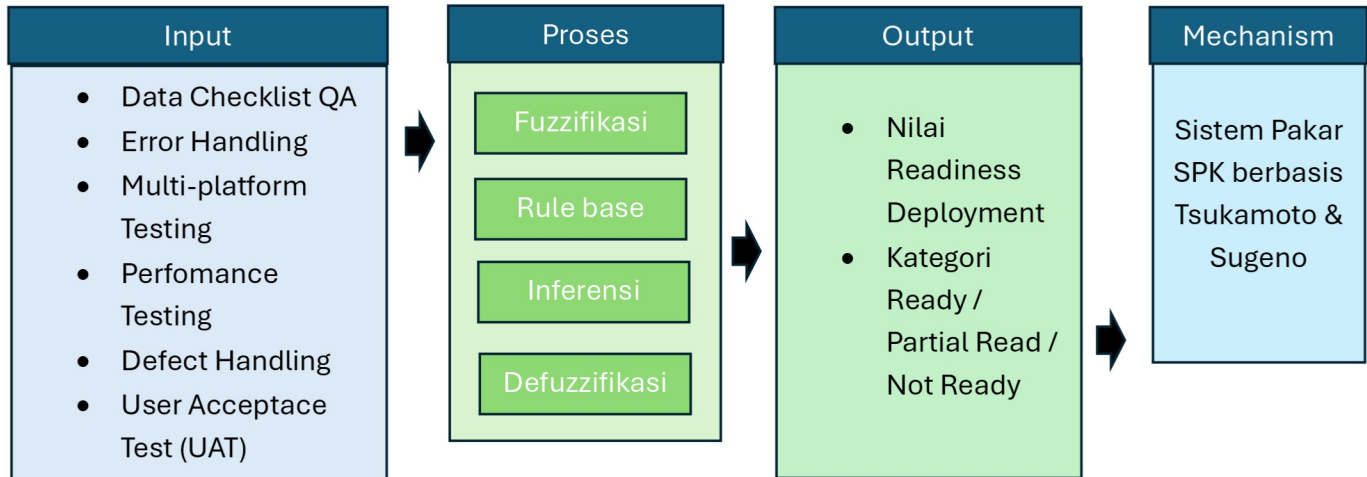
Deployment

Tahap akhir merupakan implementasi model ke dalam sistem operasional atau lingkungan nyata sehingga dapat digunakan sebagai alat bantu pengambilan keputusan.

Salah satu karakteristik utama CRISP-DM adalah sifatnya yang iteratif, di mana setiap tahapan memungkinkan untuk kembali ke tahap sebelumnya apabila ditemukan ketidaksesuaian atau kebutuhan perbaikan pada proses analisis. Dalam penelitian ini, CRISP-DM digunakan sebagai kerangka kerja metodologis untuk memastikan bahwa proses pengembangan sistem pendukung keputusan dilakukan secara sistematis mulai dari pemahaman permasalahan deployment hingga implementasi model inferensi fuzzy dalam sistem.

2.3 Kerangka Pemikiran

Gambar 2. 4 Kerangka Pemikiran Penelitian (IPOM)



Input

Tahap input merupakan data awal yang digunakan dalam penelitian ini. Input berupa data checklist Quality Assurance (QA) yang diperoleh dari proses pengujian aplikasi Bank XYZ sebelum dilakukan deployment ke lingkungan production. Checklist QA mencakup beberapa aspek penting, antara lain error handling, multi-platform testing, performance testing, defect handling, dan hasil User Acceptance Test (UAT). Data input ini bersifat numerik maupun penilaian berbasis kriteria yang selanjutnya digunakan sebagai dasar evaluasi kesiapan deployment aplikasi.

Process

Tahap process merupakan tahapan pengolahan data input menggunakan pendekatan logika fuzzy. Data checklist QA yang telah diperoleh terlebih dahulu melalui proses fuzzifikasi, yaitu mengubah nilai input tegas menjadi derajat keanggotaan fuzzy dengan fungsi keanggotaan tertentu. Selanjutnya, data diproses menggunakan basis aturan (rule base) yang disusun dalam bentuk aturan IF–THEN sesuai dengan pengetahuan QA. Proses inferensi dilakukan dengan menerapkan metode Fuzzy Tsukamoto dan Fuzzy Sugeno, yang masing-masing menghasilkan nilai keluaran berdasarkan mekanisme penalaran fuzzy dan proses defuzzifikasi.

Output

Tahap output merupakan hasil akhir dari proses pengolahan data menggunakan sistem inferensi fuzzy. Output yang dihasilkan berupa nilai kesiapan (score) deployment aplikasi serta kategori keputusan readiness deployment, yaitu READY, PARTIALLY READY, atau NOT READY. Selain itu, penelitian ini juga menghasilkan perbandingan nilai keputusan yang diperoleh dari metode Fuzzy Tsukamoto, Fuzzy Sugeno, dan metode Hybrid sebagai rekomendasi keputusan bagi tim Quality Assurance.

Mechanism

Mechanism merupakan mekanisme atau pendekatan yang digunakan untuk menghubungkan input, process, dan output dalam penelitian ini. Mekanisme utama yang digunakan adalah sistem pendukung keputusan berbasis logika fuzzy, dengan mengintegrasikan metode Fuzzy Tsukamoto dan Fuzzy Sugeno. Mekanisme ini memungkinkan sistem untuk menangani ketidakpastian dan subjektivitas dalam penilaian checklist QA serta menghasilkan keputusan yang lebih objektif, konsisten, dan mudah diinterpretasikan sebagai second opinion bagi tim QA sebelum aplikasi di-deploy ke production.