

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Untuk mendapatkan pemahaman mengenai keterkaitan penelitian yang dilakukan dengan penelitian-penelitian sebelumnya maka pada bagian ini akan dipaparkan tinjauan pustaka mengenai penerapan metode Fuzzy Logic Tsukamoto dan sistem pendukung keputusan lainnya.

1. Pada tahun 2019 telah dilakukan penelitian dengan judul “Sistem Pemantauan dan Pengendalian Kadar Amonia dan pH pada Budidaya Ikan yang Diimplementasikan pada Raspberry Pi 3B” oleh Muhammad Rivai, Muhammad Akbar Nugroho, dan Fajar Budiman. Penciptaan sistem kontrol dan pemantauan kadar amonia untuk budidaya ikan adalah tujuan dari penelitian ini. Kadar pH dan amonia air merupakan dua variabel utama yang diukur dalam penelitian ini untuk menentukan kualitas air.
2. Pada tahun 2020, Jennalyn N. Mindoro, Christopher Franco Cunanan, Edgar UY II, Elaine M. Cepe, dan Myriam J. Polinar melakukan penelitian yang berjudul [3] “Fuzz-Fish: A Fuzzy Fishpond Aquaculture Control Sensing System: Design dan Implementasi Pengembangan pemantauan ketinggian air otomatis menggunakan sistem makan refleksif adalah subjek dari penelitian Data dikumpulkan oleh sistem menggunakan berbagai sensor, bahan, dan komponen Pengujian menjadi lebih mudah dengan kolam akuarium semacam ini Berdasarkan pada kriteria yang ditentukan, properti berbasis pengetahuan dasar, inferensi, dan mekanisme defuzzifikasi, logika fuzzy digunakan untuk

mengelola metode tersebut. Sistem memiliki tingkat keberhasilan 92 persen, menurut hasil.

3. Adnan Shaout dan Spencer G. Scott melakukan penelitian pada tahun 2017 dengan judul "IoT Fuzzy Logic Aquaponics Monitoring and Control Hardware Real-Time System", dan judul mereka adalah "4". Desain sistem pemantauan dan kontrol aquaponik yang akurat, hemat perawatan, murah, dan ramah pengguna adalah tujuan dari penelitian ini. Tujuan utama makalah ini adalah untuk mengembangkan sistem bebas perawatan bagi pengguna. Saat startup dan mingguan setelah sistem stabil, parameter sistem NS perlu diperiksa. Pemantauan otomatis dan bahkan kontrol sistem semacam itu dapat dicapai di area ini.
4. Pada tahun 2015, Dinesh Singh Rana dan Sudha Rani melakukan penelitian dengan judul "[5] Sistem Pengendalian Budidaya Air Tawar Berbasis Logika Fuzzy: Metode Simulasi Menggunakan MATLAB Berdasarkan jalur data dan aturan dasar yang dihasilkan oleh domain pakar, penelitian ini bertujuan menggunakan teknik logika fuzzy untuk memprediksi faktor stres ikan.
5. Sebuah sistem yang dirancang untuk menjaga pH air akuarium menjadi bahan penelitian sebelumnya yang dipublikasikan dalam jurnal "Desain Sistem Pengaturan PH Air Akuarium Menggunakan Fuzzy Logic Control" oleh Sarmayanta Sembiring, Ahmad Rifai, Sutarno, dan Pascal Adhi Kurnia Tarigan. Menggunakan kontrol logika fuzzy, sistem ini secara otomatis menjaga pH akuarium pada tingkat yang diinginkan dengan menyesuaikan volume air alkali/asam yang ditambahkan.
6. Pada penelitian sebelumnya yang saya publikasikan di jurnal penelitian berjudul [7] Pemantauan PH air budidaya ikan lele, oleh Nuraeni Umar dan Airin Dewi Utami Thamrin, kita berbicara tentang pengendalian PH ikan lele agar PH ikan lele tetap terjaga. air tambak antara 7 sampai 8 agar kualitas ikan dapat terjaga.

7. Pembuatan prototype pengatur kadar pH dan pemberian pakan ikan koi secara otomatis telah saya bahas pada penelitian sebelumnya yang telah dipublikasikan pada jurnal penelitian berjudul [8] Prototype pengatur kadar PH dan pemberian pakan ikan koi menggunakan mikrokontroler. Penulis penelitian tersebut adalah Hilda Nur Rama Dhana, Sugiono, dan Bambang Minto Basuki. Terdapat jadwal pemberian pakan ikan koi dan pengaturan batas bawah pH air di akuarium. Hasilnya, alat akan secara otomatis memberi makan ikan sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan. Alat ini memiliki dua soket, satu untuk menguras dan satu lagi untuk mengisi, yang dapat dihubungkan ke pompa air untuk mengganti air di akuarium.
8. Otomatisasi pemantauan kadar pH dan suhu dengan Electrode Eutech Instrument pH Meter Kit sebagai sensor pH, LM35 sebagai sensor suhu, dan pengendalian ketinggian air dengan sensor ultrasound HCSR-04 telah dibahas pada penelitian sebelumnya yang saya lakukan untuk publikasi dalam jurnal penelitian dan berjudul [9] "Pemantauan otomatis dan pengaturan keasaman larutan dan suhu air kolam ikan di pembenihan ikan lele." Layar LCD dan monitor menampilkan hasil pengukuran pH dan suhu air dalam bentuk grafik sehingga memudahkan pembudidaya lele untuk memantau keadaan air kolam ikan.
9. Kridho Cokro Bagaskoro menerbitkan penelitian sebelumnya berjudul "Menggunakan Arduino untuk mengukur suhu, PH, dan Water Do ikan bawal menggunakan logika fuzzy" dalam jurnal penelitian. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat alat standarisasi pengukuran air di kolam bawal dan merancang sistem yang memberikan akurasi yang tepat melalui logika fuzzy. Sulitnya menentukan tingkat akurasi pada sensor yang dipasang pada kolam menjadi batasan masalah dalam penelitian ini.
10. "Sistem Kontrol dan Pemantauan Kadar PH Air Pada Sistem Akuaponik Berbasis NodeMCU ESP8266 Menggunakan Telegram" adalah judul penelitian sebelumnya yang saya publikasikan di jurnal ilmiah. Kajian yang

ditulis oleh Jesica Mailoa, Eri Prasetyo Wibowo, dan Risdiandri Iskandar ini mengkaji Sistem Kontrol dan Monitoring Berbasis Telegram untuk Kadar pH Air Sistem Akuaponik Berbasis Nodemcu Esp8266.

11. Penelitian sebelumnya yang saya lakukan dipublikasikan dalam jurnal penelitian dengan judul “Alat pengukur pakan ikan otomatis metode fuzzy dengan sensor suhu dan pH” oleh Anton Hidayat, Rifky Darmansyah, Junaldi, dan Narsullah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan alat pengukur pakan ikan otomatis yang memiliki pengatur waktu yang telah ditentukan dan dapat menyesuaikan jumlah pakan yang diberikan kepada ikan berdasarkan kebutuhannya.

2.2 Ikan Lele

Sebuah sumber mengklaim bahwa budidaya lele memiliki banyak manfaat, antara lain kemampuan untuk tumbuh dengan cepat dan beradaptasi dengan berbagai lingkungan. Menurut Soares (2011), peningkatan permintaan ikan lele setiap tahun menyebabkan produksi juga meningkat. Dari 270.600 ton pada tahun 2010 menjadi 900.000 ton pada tahun 2014, data nasional menunjukkan bahwa produksi lele meningkat sebesar 35% setiap tahunnya (Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya, 2014, dikutip oleh Rica, 2015).

2.3 Pertumbuhan

Pertumbuhan ikan menurut Mudjiman (2000) dapat digambarkan sebagai perubahan berat, ukuran, dan volume dari waktu ke waktu. Pertumbuhan ikan dipengaruhi oleh faktor internal seperti umur dan karakteristik genetik dan faktor eksternal seperti kondisi lingkungan. Menurut Subandiyono dan Hastuti (2010), pertumbuhan terjadi ketika energi yang dibutuhkan untuk pemeliharaan tubuh, metabolisme dasar, dan aktivitas dihilangkan. Jika pakan sesuai dengan kebutuhan nutrisi ternak dan memiliki nilai pencernaan yang tinggi maka pertumbuhan akan lebih optimal. Untuk memenuhi

kebutuhan tubuhnya akan pertumbuhan dan pemeliharaan, ikan lele dumbo membutuhkan makanan yang kaya akan protein, karbohidrat, dan lemak.

2.4 Habitat dan Kebiasaan Hidup Ikan Lele

Air tawar merupakan satu-satunya habitat atau lingkungan yang didiami ikan lele. Ikan lele dapat bertahan hidup di berbagai perairan, antara lain sungai yang tenang, danau, waduk, kolam, rawa, dan genangan kecil seperti empang. Ikan ini memiliki organ insang tambahan yang memungkinkan mereka menghirup oksigen dari udara di luar air untuk fungsi pernapasannya. Alhasil, ikan lele mampu tumbuh subur di lingkungan rendah oksigen. Selain itu, ikan lele tahan terhadap kontaminasi bahan organik, memungkinkan mereka tumbuh subur di air yang tercemar. Ikan ini hidup dengan baik di dataran rendah dan berbukit tetapi tidak terlalu tinggi. Namun, pertumbuhannya akan terganggu jika suhu lingkungannya terlalu rendah, seperti 20 derajat Celcius, dan jika mereka tinggal di daerah pegunungan dengan ketinggian di atas 700 meter, pertumbuhannya juga kurang baik. Tidak mungkin menemukan ikan lele yang hidup di air asin atau payau.

Ikan lele membutuhkan air berkualitas tinggi untuk tumbuh dengan baik. Dengan kandungan oksigen terlarut lebih dari 3 bagian per juta (ppm), pH 6,5-8, dan kandungan NH₃ kurang dari 0,05 bagian per juta (ppm), lele tumbuh subur pada suhu antara 20 dan 30 derajat Celcius. Ciri-ciri ikan pemakan bangkai atau pemakan bangkai menjadi ciri ikan lele yang tergolong ikan omnivora atau pemakan segala. Selain pakan alami, lele membutuhkan tambahan pakan berbahan dasar pelet untuk mempercepat pertumbuhannya. Memberi makan ikan di kolam dilakukan dua hingga tiga kali sehari, dengan kecepatan tiga persen dari total berat. Hasilnya, pertumbuhan ikan lele dapat terjaga secara optimal.

2.5 Teori Dasar (pH)

Suatu zat, larutan, atau keasaman atau kebasaan suatu benda dapat dinilai dengan menggunakan nilai pH-nya. Nilai pH 7 dianggap normal, sedangkan nilai pH lebih tinggi dari 7 menunjukkan kebasaan dan nilai pH lebih rendah dari 7 menunjukkan keasaman. Kertas lakmus, yang berubah menjadi merah saat pH tinggi dan biru saat pH rendah, adalah alat yang paling umum digunakan untuk mengukur pH. Namun, tersedia juga pH meter yang bekerja berdasarkan konsep elektrolit/konduktivitas suatu larutan. Pengukur impedansi tinggi, elektroda referensi, dan elektroda pengukur pH membentuk sistem pengukuran pH.

Karena dikaitkan dengan daya tumbuh ikan, maka pH memegang peranan penting dalam bidang perikanan. Misalnya, lele dapat bertahan hidup dalam kisaran pH 4 hingga 11, dengan kisaran pH 6,5 hingga 8,5 berfungsi sebagai lingkungan pertumbuhan yang menguntungkan. Banyaknya pengotor dan hasil metabolisme di lingkungan perairan dapat berdampak pada tinggi rendahnya pH air.

2.6 Dasar pengukuran Derajat Keasaman

Baik dalam industri maupun dalam kehidupan sehari-hari, asam dan basa merupakan zat yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi. Tingkat keasaman merupakan variabel penting dalam industri kimia karena mempengaruhi bagaimana bahan mentah diproses, seberapa baik produk jadi, dan membantu mengendalikan limbah industri untuk menjaga polusi dari lingkungan. Manajemen yang baik dalam pertanian membutuhkan pemahaman tentang keasaman tanah. Potensi elektrokimia yang ada antara larutan yang terkandung di dalam elektroda kaca (membran kaca) dan larutan yang tidak diketahui di luar elektroda kaca adalah dasar pengukuran pH. Elektroda kaca akan dapat membaca potensial elektrokimia ion hidrogen karena lapisan tipis kaca akan berinteraksi dengan ion hidrogen yang relatif kecil dan aktif. Untuk menyederhanakan rangkaian listrik dan hanya mengukur tegangan daripada arus, elektroda pembanding juga diperlukan.

2.7 Suhu perairan

Sebagai salah satu faktor penting yang dapat mempengaruhi produktivitas usaha akuakultur, maka perlu dilakukan kajian suhu air yang komprehensif untuk memenuhi tuntutan lingkungan yang semakin meningkat. Ikan umumnya sangat sensitif terhadap perubahan suhu air (Chin 2006; Boyd 2015), dan kondisi air berperan penting dalam mengatur suhu tubuh organisme air. (Pierce, 2012). Menurut Bolorunduro & Abdullah (1996), suhu air dapat berdampak pada proses pernapasan, makan, pertumbuhan, dan reproduksi biota air, di antara aktivitas penting lainnya. Meskipun suhu air tidak selalu sama, karakteristiknya menunjukkan perubahan yang dinamis dan dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain adanya naungan (seperti tanaman atau pohon air), masuknya air limbah ke dalam badan air (Chin, 2006), radiasi matahari, suhu udara, cuaca, dan iklim (Boyd, 2015). Kepadatan air, kelarutan gas, kelarutan senyawa, dan sifat senyawa beracun hanyalah beberapa dari proses fisik dan kimia yang dipengaruhi oleh suhu air di perairan (Howerton, 2001; Boyd, 2015). Menurut Boyd & Lichtkopler (1979), suhu air memiliki pengaruh yang signifikan terhadap proses kimia dan biologi. Untuk memahami pola perubahan, sangat penting untuk menyelidiki suhu air di kolam akuakultur. Pola fluktuasi suhu tersebut dapat berdampak pada proses fisiologis yang selanjutnya akan berdampak pada pertumbuhan dan kelangsungan hidup biota perairan yang dibudidayakan. Kisaran suhu dan pola pergeserannya pada tambak budidaya menjadi fokus kajian karakteristik suhu air ini. Untuk meningkatkan manajemen akuakultur, penelitian ini akan memberikan data penting tentang rentang suhu dan pola perubahan. Menurut Pan et al., metode ini juga dapat digunakan dalam akuakultur adaptif untuk menghadapi fluktuasi suhu sepanjang siklus hidup ikan. (2016).

2.8 Amonia

Sistem metabolisme ikan memecah protein, yang menghasilkan amonia sebagai produk sampingan. Amonia serikat diproduksi oleh proses ini, dan diekskresikan melalui insang (Ebeling et al., 2006). Produksi amoniak dipengaruhi oleh konsumsi protein pakan dan feeding rate. Sebagian nitrogen dalam protein diekskresikan sebagai amonia,

sedangkan sebagian lagi digunakan untuk membuat protein lain dan menghasilkan energi (Ebeling et al., 2006). Hal ini menunjukkan bahwa protein pakan merupakan sumber utama amoniak di tambak yang digunakan untuk budidaya ikan. Dekomposisi bahan organik, seperti ganggang dan pakan yang ditambahkan ke kolam, serta kotoran dan organisme mati, merupakan sumber lain dari amonia di kolam budidaya (Hargreaves & Tucker, 2004). Amonia diproduksi selama proses dekomposisi ini, yang berdifusi dari sedimen ke dalam kolom air.

2.9 Oksigen Terlarut

Dalam budidaya ikan, kualitas air sangat ditentukan oleh kandungan oksigen. Siklus hidup ikan dipengaruhi oleh kadar oksigen. Proses pengadukan dan pergerakan air, aktivitas fotosintesis, respirasi, dan masuknya limbah ke dalam air semuanya berperan dalam menentukan kadar oksigen dalam air sepanjang hari dan musim. Menurut Effendi (2002), peningkatan suhu satu derajat Celsius akan mengakibatkan peningkatan konsumsi oksigen sebesar 10%.

2.10 Rule

Struktur pengetahuan yang membedakan antara informasi yang telah ditemukan dan informasi yang belum ditemukan. Aturan ini memiliki kecenderungan prosedural untuk itu. Sistem berbasis aturan adalah program komputer yang mengumpulkan data dengan mengambil informasi spesifik yang disimpan dalam memori dan dalam aturan yang berfungsi sebagai dasar pengambilan keputusan, serta dengan menggunakan inferensi untuk mengumpulkan informasi umum.

Aturan struktur menggabungkan satu atau lebih premis yang valid untuk kasus "JIKA" dengan satu atau lebih kondisi yang valid untuk kasus "MAKA". Aturan dapat mencakup satu atau lebih premis yang dihubungkan dengan kata "AND", "OR", atau "gabungan" dari kalimat sebelumnya. Dalam sistem pakar yang berlandaskan hukum kodrat, wilayah hukumnya berlandaskan hukum kodrat dan tergabung dalam sistem

dasar hukum itu. Sistem menerapkan aturan ini berdasarkan informasi terkini yang disimpan dalam memori untuk komunikasi massa. Berikut ini adalah contoh sistem arsitektur berdasarkan sistem alam:

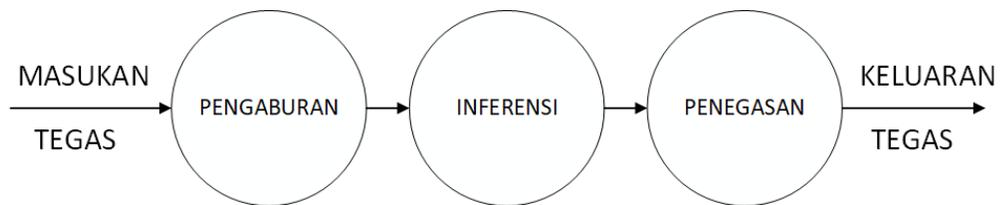
- 1) Antarmuka pengguna untuk berinteraksi dengan sistem;
- 2) Antarmuka untuk mengimplementasikan sistem atas nama organisasi;
- 3) Fungsi penjelasan untuk turut serta dalam acara pidana; dan
- 4) Program eksternal, seperti spreadsheet atau basis data, untuk mengimplementasikan fungsionalitas sistem.

2.11 Logika Fuzzy

Logika fuzzy adalah jenis logika yang dapat memperhitungkan berbagai skala kebenaran atau kesalahan selain hanya berfokus pada dua nilai (nol atau satu). Logika Boolean, yang lebih umum digunakan dalam komputasi, tidak sama dengan ini. Mesin dapat "berpikir" lebih dari sekadar istilah hitam-putih berkat logika fuzzy. Preposisi dapat direpresentasikan ke tingkat kebenaran atau kesalahan tertentu dalam logika fuzzy. Operator atau manusia memainkan peran utama dalam sistem diagnosis fuzzy. Operator yang bertugas memasukkan data ke dalam sistem dan juga dapat meminta atau meminta informasi dari sistem diagnostik berupa kesimpulan atau prosedur diagnostik yang mendalam. Akibatnya, sistem pakar fuzzy dan sistem diagnostik fuzzy dapat digabungkan. Sistem pakar fuzzy adalah sistem pakar yang menggunakan notasi fuzzy logika keputusan untuk aturan dan proses inferensi. Meskipun mungkin sangat kompleks, beberapa sistem terlalu kompleks untuk dimodelkan secara akurat menggunakan persamaan matematika. Menggunakan bahasa yang fleksibel dalam logika fuzzy dapat membantu lebih baik dalam menentukan karakteristik operasional sistem dalam situasi ini. Biasanya, karakteristik sistem diekspresikan melalui implikasi logis seperti aturan Jika-Maka. Dengan mengurangi jumlah fungsi liar yang muncul pada keluaran sistem sebagai akibat dari perubahan variabel masukan, penerapan

logika fuzzy berpotensi untuk meningkatkan kinerja sistem kendali. Ada tiga tahap utama untuk mempraktikkan logika fuzzy:

- (1) Tahap fuzzifikasi, yang mencakup pemetaan dari masukan ketat ke himpunan fuzzy;
- (2) Tahap inferensi, yang memerlukan pembentukan aturan fuzzy; dan
- (3) Tahap defuzzifikasi, yang memerlukan perubahan output fuzzy menjadi nilai yang pasti. Tahapan ini disebut sebagai tahapan proses.



Gambar 2.1 Tahapan proses dalam dalam logika kabur (Kurniawan, 2004)

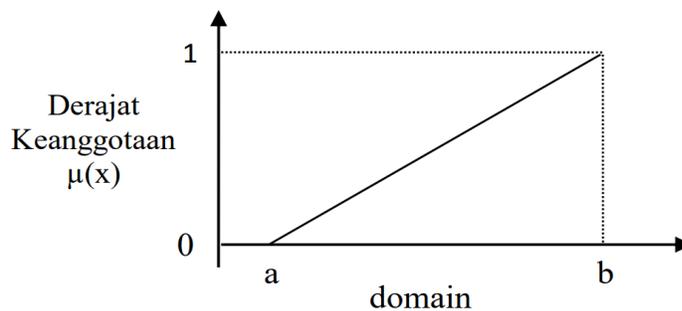
2.12 Fungsi Keanggotaan

Karena derajat keanggotaan suatu titik input dalam himpunan fuzzy dapat ditentukan, fungsi keanggotaan memainkan peran penting dalam logika fuzzy. Kurva yang dikenal sebagai fungsi keanggotaan kemudian akan digunakan untuk memetakan nilai titik input ke nilai keanggotaan dalam contoh ini. Interval antara 0 dan 1 dalam nilai keanggotaan ini memudahkan untuk menentukan tingkat keanggotaan titik input. Bergantung pada karakteristik sistem dan tujuan yang ingin dicapai, beragam fungsi keanggotaan, seperti trapesium, segitiga, dan sebagainya, dapat digunakan. 2013) Kusumadewi dan Purnomo

A. Representasi Linier Naik

Representasi linier naik adalah teknik analisis statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara dua variabel dengan menggunakan persamaan garis lurus. Tujuan utama dari teknik ini adalah untuk menemukan persamaan

garis lurus yang paling baik mewakili hubungan antara variabel input dan variabel output. Representasi linier naik meminimalkan selisih antara nilai yang diprediksi oleh model dan nilai aktual dari variabel output dengan menggunakan metode kuadrat terkecil. Teknik ini sering digunakan di berbagai bidang untuk memprediksi nilai variabel output berdasarkan nilai variabel input yang diberikan.



Gambar 2. 2 Representasi Linier Naik

B. Fungsi Keanggotaan

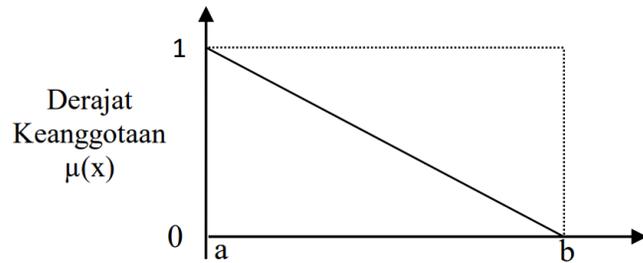
Fungsi keanggotaan adalah fungsi matematis yang digunakan dalam logika fuzzy untuk menentukan sejauh mana suatu elemen masukan termasuk dalam suatu himpunan fuzzy. Fungsi keanggotaan dapat memiliki berbagai bentuk, seperti segitiga, trapesium, dan kurva Gaussian, dan mewakili pola keanggotaan yang berbeda untuk suatu variabel.

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ (x-a) / (b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases}$$

C. Inverse linear regression

Adalah teknik statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara dua variabel, di mana variabel input menurun sedangkan variabel output naik.

Representasi linier turun mirip dengan representasi linier naik, namun hubungan antara variabel input dan output ditukar.



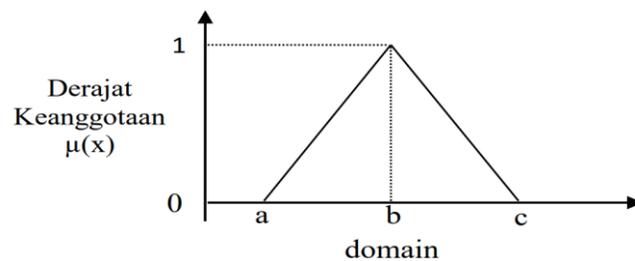
Gambar 2. 3 Representasi Linier Turun

Fungsi Keanggotaan

$$\mu[x] = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ (x-a) / (b-a); & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases}$$

E. Representasi Kurva Segitiga

Representasi kurva segitiga adalah salah satu jenis fungsi keanggotaan dalam logika fuzzy yang paling umum digunakan. Kurva segitiga digunakan untuk menggambarkan tingkat keanggotaan suatu variabel dalam himpunan fuzzy dengan bentuk segitiga yang memiliki tiga parameter penting: titik awal, puncak, dan titik akhir.



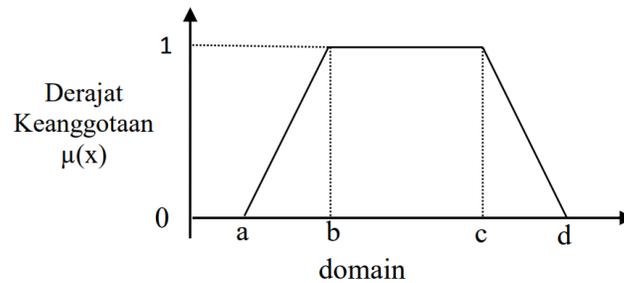
Gambar 2. 4 Representasi Kura Segitiga

Fungsi Keanggotaan

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ (x-a) / (b-a); & a \leq x \leq b \\ (b-x) / (c-b); & b \leq x \leq c \end{cases}$$

F. Representasi Kurva Trapesium

Kurva trapesium adalah salah satu jenis fungsi keanggotaan dalam logika fuzzy yang sering digunakan untuk menggambarkan tingkat keanggotaan suatu variabel dalam himpunan fuzzy dengan bentuk trapesium.



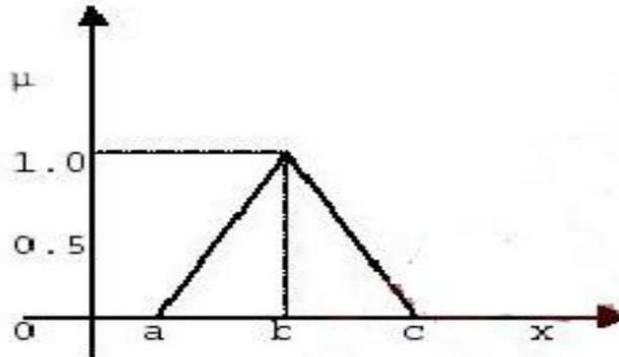
Gambar 2. 5 Representasi Kura Trapesium

Fungsi Keanggotaan

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ (x-a) / (b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ (d-x) / (d-c); & x \geq d \end{cases}$$

2.13 Fungsi keanggotaan Segitiga

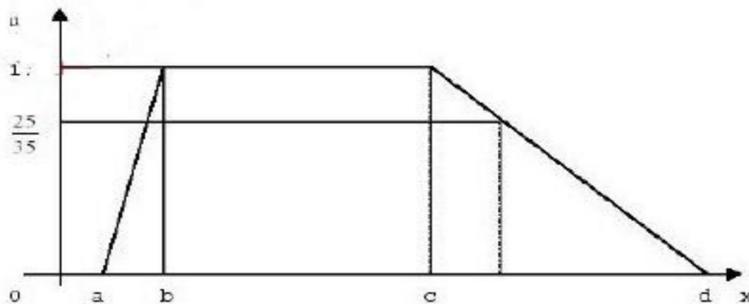
Fungsi keanggotaan yang mempunyai parameter a, b, c dengan formulasi segitiga $(x; a, b, c) = \max\{\min\{(x-a)/(b-a), (c-x)/(c-b)\}, 0\}$



Gambar 2. 6 Fungsi Keanggotaan Segitiga (Kusumumadewi dan Purnomo, 2010)

2.14 Fungsi keanggotaan Trapesium

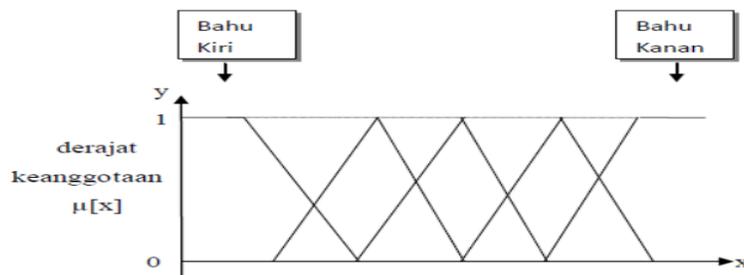
Fungsi keanggotaan yang mempunyai parameter a, b, c, d dengan formulasi Trapesium $(x; a, b, c, d) = \max\{\min\{(x-a)/(b-a), 1, (d-x)/(d-c)\}, 0\}$



Gambar 2. 7 Fungsi Keanggotaan Trapesium (Kusumumadewi dan Purnomo, 2010)

2.15 Fungsi keanggotaan Kurva Bahu

Daerah tengah sebuah variabel yang terwakili dalam bentuk segitiga menunjukkan bagian yang berada di tengah. Kedua sisi dari bagian tengah ini akan meningkat dan menurun. Himpunan fuzzy "bahu" digunakan untuk membatasi bagian dari variabel tersebut dan membuatnya menjadi daerah fuzzy. Bahu kiri bergerak dari benar menjadi salah, begitu pula bahu kanan bergerak dari salah menjadi benar.



Gambar 2.8 Fungsi Keanggotaan Kurva Bahu (Kusumumadewi dan Purnomo, 2010)

2.16 Variabel Linguistik

Nilai dari Variabel Linguistik bersifat subjektif dan bersifat deskriptif, bukan numerik. Ini membedakan variabel linguistik dengan variabel numerik biasa. Nilai linguistik untuk variabel seperti "kecepatan" dapat berupa kata-kata seperti "lambat", "sedang", dan "cepat", yang merupakan pengkategorian yang sesuai dengan cara pandang manusia sehari-hari dalam menilai sesuatu. Lofti Zadeh memperkenalkan konsep Variabel Linguistik dan menekankan bahwa nilai-nilai dalam variabel ini bersifat deskriptif dan subjektif.

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

Dimana:

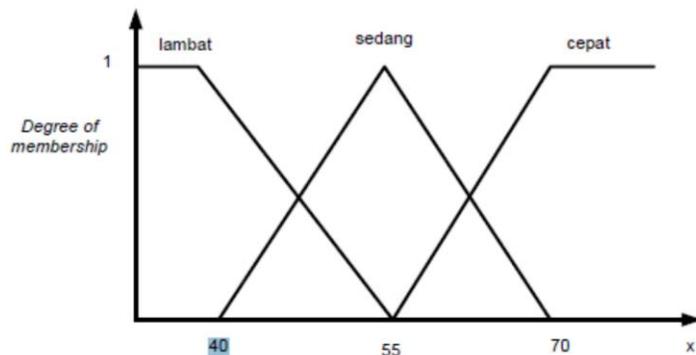
X = nama variabel (variabel linguistik)

$T(x)$ 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 $T(\text{kecepatan}) = (\text{lambat, sedang, cepat})$ Maka M setiap X , adalah $M(\text{lambat})$, dan $M(\text{sedang})$, $M(\text{cepat})$. Dimana: $M(\text{lambat})$ = himpunan samarnya “kecepatan di bawah 40 mph” dengan fungsi keanggotaan m sedang. $M(\text{cepat})$ = himpunan samarnya “kecepatan di atas 70 mph” dengan fungsi keanggotaan m cepat. Gambar grafik fungsi keanggotaannya sebagai berikut:



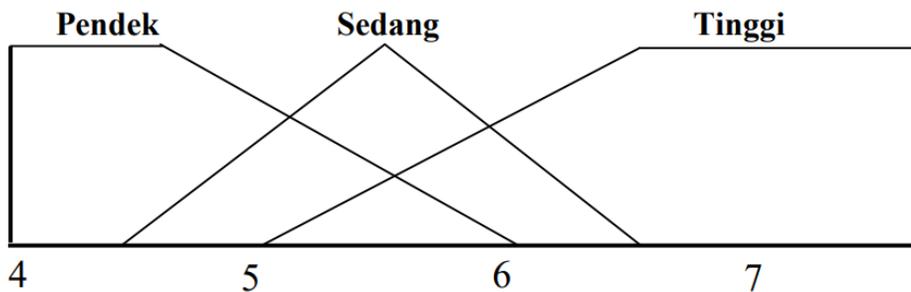
Gambar 2.9 Fungsi Keanggotaan Kecepatan (Kurniawan, 2004)

2.17 Himpunan Fuzzy

Fungsi keanggotaan perlu didefinisikan agar komputer dapat merepresentasikan himpunan fuzzy. Sebagai gambaran, tingkat kepercayaan diri seseorang dapat digunakan untuk menentukan tinggi badannya. Setelah menerima tanggapan mengenai batas tinggi badan, kita dapat menghitung rata-rata untuk membuat kelompok individu

tinggi yang kabur. Ini bisa digunakan sebagai tingkat keyakinan untuk individu yang merupakan anggota himpunan fuzzy tinggi. Proses ini bisa dilanjutkan untuk membentuk himpunan fuzzy untuk kategori lain seperti pendek dan sedang. Dalam literatur, sering disebut sebagai fuzzy subset ketika himpunan fuzzy didefinisikan pada lingkup diskusi yang sama.

Dengan membentuk fuzzy subset ini untuk berbagai bentuk, kita bisa melihat nilai keanggotaan dari objek tertentu pada setiap himpunan. Misalnya, individu yang memiliki tinggi 5,5 kaki bisa menjadi anggota himpunan medium dengan nilai keanggotaan 1 dan sekaligus anggota himpunan pendek dan tinggi dengan nilai keanggotaan masing-masing 0,25. Ini menunjukkan bahwa satu objek bisa diproyeksikan ke anggota himpunan yang berbeda.



Gambar 2.10 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 elemenelemen diskrit cara yang tepat untuk mempresentasikan himpunan fuzzy dengan menggunakan vektor :

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$$

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 :

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

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

2.18 Fuzzyfikasi

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

$$\mathbf{x} = \text{fuzzifier}(\mathbf{x}_0)$$

dengan \mathbf{x}_0 adalah sebuah vektor nilai tegas dari suatu variabel masukan, \mathbf{x} adalah vektor himpunan fuzzy yang didefinisikan sebagai variabel dan fuzzifier adalah sebuah operator fuzzyfikasi yang mengubah nilai tegas ke himpunan fuzzy.

2.19 Defuzzifikasi (Defuzzification)

Defuzzification adalah proses yang mengubah output dari domain fuzzy menjadi output yang jelas (crisp). Proses ini menghasilkan output fuzzy melalui eksekusi beberapa fungsi keanggotaan fuzzy. Terdapat tujuh metode yang dapat diterapkan pada proses defuzzifikasi, seperti metode Height (Max-membership principle), metode Centroid (Center of Gravity), metode Rata-rata Terberat, metode Meanmax membership, metode Pusat jumlah, metode Pusat daerah terbesar, dan metode Pertama (atau terakhir) dari maksimum. Metode Height mengambil nilai tertinggi dari fungsi

keanggotaan output fuzzy sebagai nilai defuzzifikasi. Nilai defuzzifikasi ditentukan dengan metode Centroid dengan mengambil nilai tengah dari semua fungsi keanggotaan keluaran fuzzy. Jika bentuk keluaran dari beberapa proses fuzzy identik, metode rata-rata terberat tidak dapat digunakan. Metode keanggotaan Meanmax bekerja dengan cara yang sama seperti metode Ketinggian, tetapi lokasi fungsi keanggotaan maksimum tidak harus unik. Metode rata-rata terberat memiliki prinsip kerja yang hampir sama dengan metode pusat total; namun, nilai yang dihasilkan adalah area yang sesuai dari fungsi keanggotaan. Subregion terluas digunakan sebagai nilai defuzzifikasi karena metode pusat area terbesar hanya digunakan ketika output fuzzy memiliki setidaknya dua subregion cembung. Seluruh output dari fungsi keanggotaan digunakan dalam metode maksimum pertama (atau terakhir).

2.20 Aturan IF – THEN

Aturan logika IF-THEN dapat dibangun dengan mempelajari parameter data dan fungsi keanggotaan. Bagian blok parameter, yang bertugas menyimpan nilai parameter untuk setiap aturan, dan blok aturan, yang bertugas menyimpan aturan itu sendiri, membentuk dua bagian dari struktur aturan ini. Produk dari jumlah semua fenomena yang mungkin terkait dengan premis adalah total aturan yang dapat dibentuk dengan menggunakan IF-THEN. Namun, penting untuk diingat bahwa proses menghilangkan aturan yang tidak diperlukan dapat mengurangi jumlah aturan.

2.21 Metode Tsukamoto

Setiap aturan metode Tsukamoto didasarkan pada ide dasar penalaran monoton. Sistemnya mengikuti aturan tunggal, seperti penalaran monoton, tetapi metode Tsukamoto mengikuti banyak aturan. Dalam contoh ini, himpunan fuzzy fungsi keanggotaan monoton harus digunakan untuk mewakili setiap konsekuensi dalam aturan JIKA-MAKA. Setiap kesimpulan aturan dibuat hanya berdasarkan kekuatan api predikat. Menggunakan ide rata-rata tertimbang dan defuzzy, agregasi antar aturan

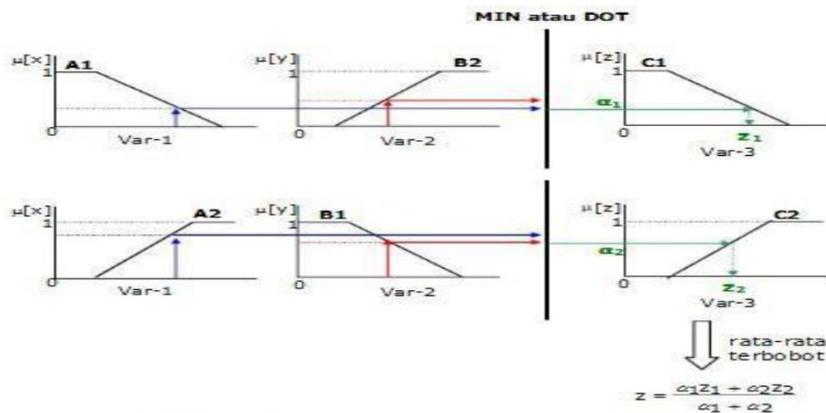
dilakukan. Misalnya, variabel masukan x dan y dibagi menjadi dua himpunan A1 dan A2, variabel y dibagi menjadi dua himpunan B1 dan B2, dan variabel keluaran Z dibagi menjadi dua himpunan C1 dan C2. Himpunan C1 dan C2 harus sama. Dua peraturan:

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

Penamaan α -predikat untuk aturan pertama dan kedua disebut masing-masing sebagai α_1 dan α_2 . Dengan melakukan penalaran monoton, nilai Z_1 ditemukan pada aturan pertama dan nilai Z_2 ditemukan pada aturan kedua. Hasil akhir diperoleh dengan menggunakan aturan terbobot melalui formula sebagai berikut:

$$(4) \quad Z = \frac{\alpha_1 Z_1 + \alpha_2 Z_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

Diagram blok proses inferensi dengan metode Tsukamoto (Jang, 1997) dapat dilihat pada gambar 2.11



Gambar 2.11 Inferensi dengan menggunakan metode Tsukamoto (Jang, 1997)

2.22 Fuzzy Logic

Makna kabur atau ambigu disebut sebagai fuzzy dalam bahasa yang lebih umum. Ini menunjukkan bahwa suatu nilai dapat secara bersamaan memiliki derajat kebenaran dan kesalahan. Ide derajat keanggotaan memiliki nilai antara 0 dan 1 dalam teori logika fuzzy. Jenis logika yang dikenal sebagai logika fuzzy memperhitungkan tingkat kebenaran atau ambiguitas nilai daripada hanya benar atau salah. Bobot keanggotaan nilai menentukan derajat kebenaran atau ketidakjelasan. Penerapan logika fuzzy dapat dilihat dalam kehidupan sehari-hari. Siswa yang memiliki sepeda, misalnya, lebih cenderung mengangkat tangan saat guru meminta mereka melakukannya. Namun, muncul pertanyaan tentang siapa yang benar-benar pintar dan siapa yang tidak ketika guru meminta siswa yang pintar untuk mengangkat tangan. Ini menunjukkan bahwa perbedaan antara "pintar" dan "tidak pintar" kacau. Akibatnya, diperlukan bahasa ilmiah baru yang mampu menangkap ambiguitas istilah bahasa sehari-hari. Lotfi Asker Zadeh, seorang profesor di University of California, menemukan bahasa semacam ini pada awal tahun 1965. Dia mengembangkan teori himpunan fuzzy dari teori himpunan tradisional. Algoritme kontrol, diagnostik medis, sistem pendukung keputusan, ekonomi, teknik, psikologi, lingkungan, keamanan, dan sains semuanya menggunakan teori ini secara ekstensif. Misalnya, manajer gudang menentukan persediaan akhir pekan, sedangkan manajer produksi menentukan produksi hari berikutnya. Ilustrasi lainnya adalah ketika seorang manajer memberikan penghargaan kepada seorang karyawan atas kinerja yang luar biasa. Logika bahasa dapat diterjemahkan ke dalam wilayah yang telah dicakup oleh teori himpunan fuzzy. jangkauan dan menunjukkan derajat keanggotaannya.

2.23 Confusion Matrix

Confusion Matrix dikenal sebagai suatu teknik perhitungan yang digunakan untuk mengukur tingkat akurasi dan tingkat kesalahan dalam sebuah analisis. Dalam teknik

ini, akurasi didefinisikan sebagai rasio dari jumlah kasus yang diklasifikasikan dengan benar dan jumlah seluruh kasus yang ada. Sementara itu, tingkat kesalahan didefinisikan sebagai rasio dari jumlah kasus yang diklasifikasikan dengan salah dan jumlah seluruh kasus. Dalam penelitian ini, perhitungan akurasi dan tingkat kesalahan dapat dilakukan dengan menggunakan suatu bentuk matrix yang berukuran 3x3, dimana tiga jenis tingkat kepuasan dapat ditemukan yaitu Mati, Pertumbuhan Terhambat, dan Normal

Tabel 2.1 Confusion Matrix

Predicted Aktual	Mati	Pertumbuhan Terhambat	Normal
Mati	TP_{ss}	FP_{sp}	FP_{sm}
Pertumbuhan Terhambat	FN_{ss}	TN_{pp}	FN_{pm}
Normal	FN_{ss}	FN_{mp}	TN_{mm}

Pada tabel 2.1 merupakan bentuk confusion matrix 3x3 dengan S adalah sangat puas, P adalah puas dan m adalah mengecewakan. Untuk menghitung tingkat *Accuracy* dan *Error rate* digunakan rumus:

$$\text{Accuracy} = \frac{TP_{ss} + TN_{pp} + TN_{mm}}{TP_{ss} + FP_{ss} + FP_{sm} + FN_{ps} + TN_{pp} + FN_{pm} + FN_{ms} + FN_{mp} + TN_{mm}} \times 100\%$$

$$\text{Error Rate} = \frac{FP_{sp} + FP_{sm} + FN_{ps} + FN_{pm} + FN_{ms} + FN_{mp}}{TP_{ss} + FP_{ss} + FP_{sm} + FN_{ps} + TN_{pp} + FN_{pm} + FN_{ms} + FN_{mp} + TN_{mm}} \times 100\%$$