

**PENGOPTIMALAN PENGGUNAAN PUPUK NPK DALAM
PERTANIAN PADI MENGGUNAKAN METODE FUZZY MAMDANI**



DISUSUN OLEH:

| | |
|-------------------------------------|-----------------|
| ALYZA KHOIRUN NADIF | L0122018 |
| ANANTA BHIRAWA PUTRA NUGROHO | L0122019 |
| BILLIE ZANDRA WIDIYANTO | L0122032 |

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS DATA
UNIVERSITAS SEBELAS MARET**

2024

ABSTRAK

Penggunaan pupuk yang efisien dan efektif menjadi semakin penting dalam pertanian padi seiring dengan meningkatnya kebutuhan pangan global dan berkurangnya lahan pertanian yang subur. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model pengoptimalan penggunaan pupuk menggunakan metode Fuzzy Mamdani. Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam menangani ketidakpastian dan kompleksitas yang sering ditemukan dalam sistem pertanian, serta fleksibilitasnya dalam pengambilan keputusan berdasarkan berbagai parameter tanah dan tanaman. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti kadar C-organik, N-total, P, K, pH tanah, dan kapasitas tukar kation, metode Fuzzy Mamdani mampu memberikan rekomendasi yang lebih holistik dan tepat sasaran. Implementasi metode ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, meningkatkan produktivitas tanaman, serta menjaga kesuburan tanah dan mengurangi dampak lingkungan negatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Fuzzy Mamdani tidak hanya mudah diimplementasikan tetapi juga adaptif terhadap perubahan kondisi lapangan, menjadikannya alat yang efektif dan berkelanjutan untuk pengelolaan penggunaan pupuk dalam pertanian padi.

ABSTRACT

The efficient and effective use of fertilizers is becoming increasingly important in rice cultivation due to the rising global demand for food and the reduction of fertile agricultural land. This study aims to develop a fertilizer optimization model using the Fuzzy Mamdani method. This method was chosen for its ability to handle the uncertainties and complexities often found in agricultural systems, as well as its flexibility in decision-making based on various soil and plant parameters. By considering factors such as organic carbon content, total nitrogen, phosphorus, potassium, soil pH, and cation exchange capacity, the Fuzzy Mamdani method can provide more comprehensive and targeted recommendations. The implementation of this method is expected to enhance fertilizer efficiency, increase crop productivity, maintain soil fertility, and reduce negative environmental impacts. The findings of the study indicate that the Fuzzy Mamdani method is not only easy to implement but also adaptable to changing field conditions, making it an effective and sustainable tool for fertilizer management in rice farming.

BAB I

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan bahan pangan semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dunia. Di sisi lain, jumlah lahan pertanian yang dapat menyokong ketersediaan pangan semakin berkurang akibat alih fungsi lahan pertanian menjadi lahan urban. Penggunaan pupuk yang tidak tepat juga menjadi tantangan tersendiri, karena penggunaan pupuk yang berlebihan dapat menyebabkan tanah menjadi tidak subur dan merusak lingkungan. Oleh karena itu, optimalisasi penggunaan pupuk dalam pertanian menjadi sangat penting untuk menjaga produktivitas tanaman, khususnya padi, yang merupakan salah satu tanaman pangan utama di Indonesia.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan pupuk adalah metode Fuzzy Mamdani. Metode ini memungkinkan penggunaan pupuk NPK yang lebih efisien dan efektif, sehingga dapat meningkatkan hasil tanaman dengan cara yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Metode Fuzzy Mamdani mampu menangani ketidakpastian dan kompleksitas yang sering ditemukan dalam pertanian, dengan menggunakan himpunan fuzzy dan aturan if-then untuk membuat keputusan yang lebih baik meskipun data yang tersedia tidak lengkap atau presisi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model pengoptimalan pupuk NPK dalam pertanian padi menggunakan metode Fuzzy Mamdani, mengetahui faktor-faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi penggunaan pupuk, serta menerapkan metode Fuzzy Mamdani untuk meningkatkan produktivitas lahan pertanian padi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat seperti meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk sehingga biaya produksi dapat ditekan, mengurangi dampak buruk pemakaian pupuk kimia yang berlebihan terhadap lingkungan, mengurangi risiko gagal panen akibat padi kekurangan nutrisi, meningkatkan kesuburan tanah jangka panjang, serta meningkatkan hasil panen dan kualitas padi.

Pemupukan pertanian padi yang tidak tepat waktu dan dosis dapat mengakibatkan ketidakseimbangan nutrisi di dalam tanah. Hal ini tidak hanya berdampak pada penurunan produktivitas tanaman, tetapi juga pada kesehatan ekosistem pertanian secara keseluruhan. Kondisi tanah yang tidak optimal sering kali menjadi penghambat utama dalam mencapai hasil panen yang maksimal. Selain itu, ketergantungan pada penggunaan pupuk kimia yang

berlebihan meningkatkan risiko pencemaran lingkungan dan penurunan kualitas tanah dalam jangka panjang.

Dalam pengoptimalan penggunaan pupuk NPK, berbagai parameter seperti Kapasitas Tukar Kation (KTK) Tanah, Kejenuhan Basa (KB) Tanah, C-organik Tanah, Nitrogen Tanah, Fosfor P_2O_5 Tanah, dan Kalium K_2O Tanah perlu dipertimbangkan. Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan data sekunder yang tersedia dari sumber terpercaya seperti jurnal penelitian, laporan pemerintah, dan database pertanian. Data ini mencakup informasi mengenai kadar nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) di dalam tanah.

Penelitian ini mengusulkan penggunaan metode Fuzzy Mamdani untuk mengoptimalkan penggunaan pupuk NPK dalam pertanian padi. Penggunaan metode Fuzzy Mamdani dalam pengoptimalan pupuk NPK ini diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih inovatif melalui pemanfaatan parameter yang lebih luas dan penyediaan berbagai pilihan komposisi pupuk yang lebih tepat. Beberapa parameter yang dapat mengganggu proses ini termasuk ketersediaan air, kondisi cuaca, dan kualitas tanah, yang semuanya harus dipertimbangkan dalam model fuzzy yang dikembangkan.

Penelitian ini mengacu pada jurnal Suarjana, I. W., Supadma A.A. Nyoman, & Arthagama I Dewa Made yang berjudul Kajian Status Kesuburan Tanah Sawah Untuk Menentukan Anjuran Pemupukan Berimbang Spesifik Lokasi Tanaman Padi Di Kecamatan Manggis. Pada penelitian tersebut, penentuan pupuk dilakukan secara statis berdasarkan hasil analisis status kesuburan tanah. Metode yang digunakan belum melibatkan teknik Fuzzy Mamdani, sehingga anjuran pemupukan masih bersifat tetap dan tidak mempertimbangkan ketidakpastian serta variasi kondisi tanah secara dinamis. Sebaliknya, dalam penelitian ini, metode Fuzzy Mamdani digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan pupuk dengan memperhitungkan parameter-parameter tanah seperti kadar nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih adaptif dan presisi terhadap kondisi tanah yang bervariasi.

Rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Bagaimana metode Fuzzy Mamdani dapat digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan pupuk NPK dalam pertanian padi?
2. Faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi efisiensi penggunaan pupuk NPK dalam pertanian padi?

3. Bagaimana metode Fuzzy Mamdani dapat diterapkan untuk meningkatkan produktivitas lahan pertanian padi?

Dengan memahami dan menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam bidang pertanian, khususnya dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi penggunaan pupuk dalam budidaya padi.

BAB II

METODE

Penelitian ini menggunakan metode Fuzzy Mamdani untuk mengoptimalkan penggunaan pupuk pada pertanian padi. Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam menangani ketidakpastian dan kompleksitas yang sering ditemukan dalam sistem pertanian. Dengan metode Fuzzy Mamdani, keputusan penggunaan pupuk dibuat berdasarkan parameter-parameter tanah yang berbeda seperti kadar nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K).

Metode Fuzzy Mamdani

Metode Fuzzy Mamdani merupakan salah satu teknik inferensi fuzzy yang paling umum digunakan. Metode ini dikembangkan oleh Profesor Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 yang menggunakan aturan if-then dan dapat menangani data yang tidak pasti dan tidak presisi, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi dalam bidang pertanian. Berikut adalah langkah-langkah dalam metode Fuzzy Mamdani yang digunakan dalam penelitian ini dengan menganalisis Status Nitrogen Tanah dalam Kaitannya dengan Serapan Nitrogen Tanaman Padi:

1. Pengumpulan data:

Data sekunder digunakan dalam penelitian ini, yang mencakup informasi mengenai kadar nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dalam tanah. Pengumpulan data dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa data yang diperoleh representatif terhadap kondisi tanah yang akan dioptimalkan. Data ini diperoleh dari Peraturan Menteri Pertanian Nomor 40/PERMENTAN/OT.140/4/2007.

2. Fuzzifikasi:

Proses ini mengubah input numerik menjadi himpunan fuzzy. Dalam konteks pertanian padi, parameter seperti kadar nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dalam tanah dikonversi menjadi kategori fuzzy seperti rendah, sedang, dan tinggi.

3. Pembentukan Aturan (Rule Base):

Aturan-aturan if-then dibuat berdasarkan pengetahuan pakar dan literatur yang ada. Contoh aturan: Jika kadar N rendah, maka kebutuhan pupuk urea tinggi. Aturan-aturan ini membantu dalam mengambil keputusan yang tepat berdasarkan kondisi tanah.

4. Inferensi:

Proses inferensi menggunakan aturan-aturan if-then yang telah dibentuk untuk menghasilkan output fuzzy. Sebagai contoh, jika kadar N dalam tanah rendah dan kadar P sedang, maka rekomendasi pupuk NPK ditentukan berdasarkan kombinasi dari aturan-

aturan ini. Proses ini menggunakan operator fuzzy seperti min dan max untuk menggabungkan hasil dari berbagai aturan yang relevan.

5. Defuzzifikasi:

Tahap akhir adalah defuzzifikasi, yaitu mengkonversi output fuzzy menjadi nilai numerik yang dapat digunakan. Dalam penelitian ini, hasil akhir berupa jumlah pupuk yang direkomendasikan dalam kg/ha untuk mencapai produktivitas optimal.

Dengan langkah-langkah ini, metode Fuzzy Mamdani memberikan rekomendasi penggunaan pupuk yang lebih tepat sasaran dan efektif berdasarkan kondisi tanah yang spesifik, sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan produktivitas tanaman padi.

BAB III

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian dan implementasi metode Fuzzy Mamdani dalam pengoptimalan penggunaan pupuk pada pertanian padi. Analisis data meliputi penentuan parameter dan kriteria, proses fuzzifikasi, pembentukan aturan, inferensi, dan defuzzifikasi, yang menghasilkan rekomendasi penggunaan pupuk secara efisien dan efektif.

Parameter dan Kriteria

Penelitian ini mempertimbangkan beberapa parameter penting yang mempengaruhi kebutuhan pupuk, yaitu:

1. Kadar N dalam tanah (%):
Rendah: 0 - 0.2
Sedang: 0.21 - 0.5
Tinggi: > 0.5
2. Kadar P dalam tanah (mg/100g):
Rendah: 0 - 20
Sedang: 20 - 40
Tinggi: > 40
3. Kadar K dalam tanah (mg/100g):
Rendah: 0 - 20
Sedang: 20 - 40
Tinggi: > 40

Kebutuhan Pupuk

Berdasarkan kategori di atas, kebutuhan pupuk dihitung sebagai berikut:

1. Pupuk Urea (Kg/ha):
Rendah: 161
Sedang: 116
Tinggi: 27
2. Pupuk SP-36 (Kg/ha):
Rendah: 100
Sedang: 75
Tinggi: 50

3. Pupuk KCl (Kg/ha):

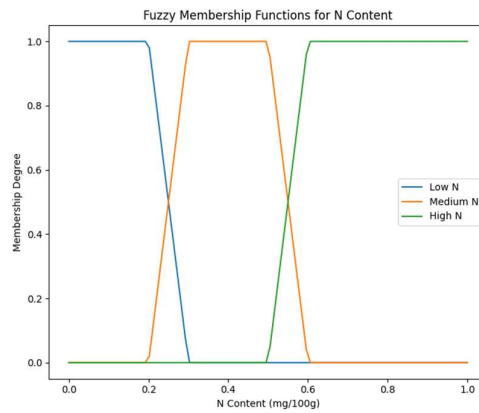
Rendah: 100

Tinggi: 50

Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan untuk masing-masing parameter adalah sebagai berikut:

1. Kadar N

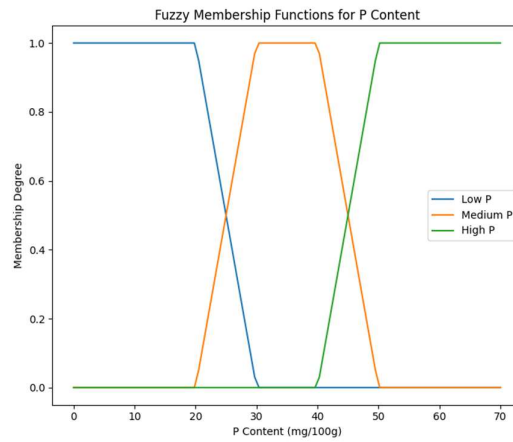


$$\mu_{Rendah}(x) = f(x) = \begin{cases} 0; & x \geq 0.3 \\ \frac{0.3 - x}{0.3 - 0.2}; & 0.2 \leq x \leq 0.3 \\ 1; & x \leq 0.2 \end{cases}$$

$$\mu_{Sedang}(x) = f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 0.2 \\ \frac{x - 0.2}{0.3 - 0.2}; & 0.2 \leq x \leq 0.3 \\ 1; & 0.3 < x \leq 0.5 \\ \frac{0.6 - x}{0.6 - 0.5}; & 0.5 < x \leq 0.6 \\ 0; & x > 0.6 \end{cases}$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 0.5 \\ \frac{x - 0.5}{0.6 - 0.5}; & 0.5 < x \leq 0.6 \\ 1; & x > 0.6 \end{cases}$$

2. Kadar P

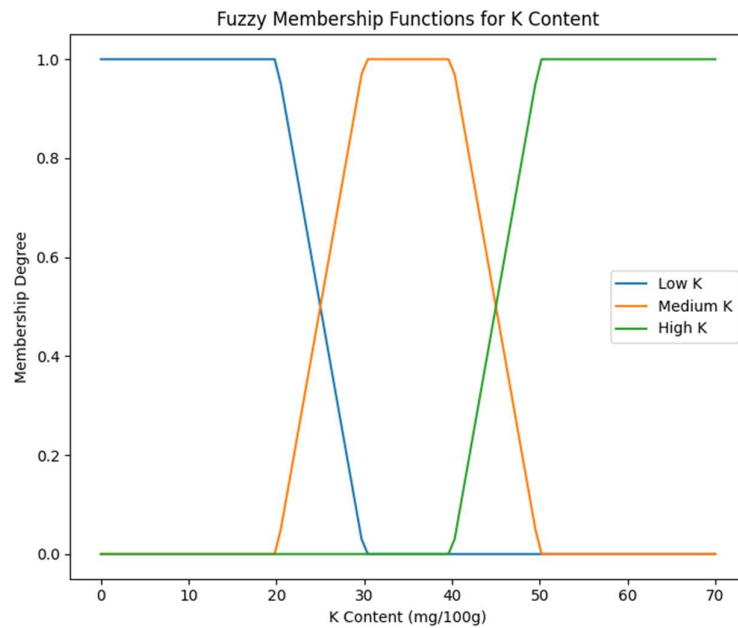


$$\mu_{Rendah}(x) = f(x) = \begin{cases} 0; & x \geq 30 \\ \frac{30 - x}{30 - 20}; & 20 \leq x \leq 30 \\ 1; & x \leq 20 \end{cases}$$

$$\mu_{Sedang}(x) = f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 20 \\ \frac{x - 20}{30 - 20}; & 20 \leq x \leq 30 \\ 1; & 30 < x \leq 40 \\ \frac{50 - x}{50 - 40}; & 40 < x \leq 50 \\ 0; & x > 50 \end{cases}$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 40 \\ \frac{x - 40}{50 - 40}; & 40 < x \leq 50 \\ 1; & x > 50 \end{cases}$$

3. Kadar K

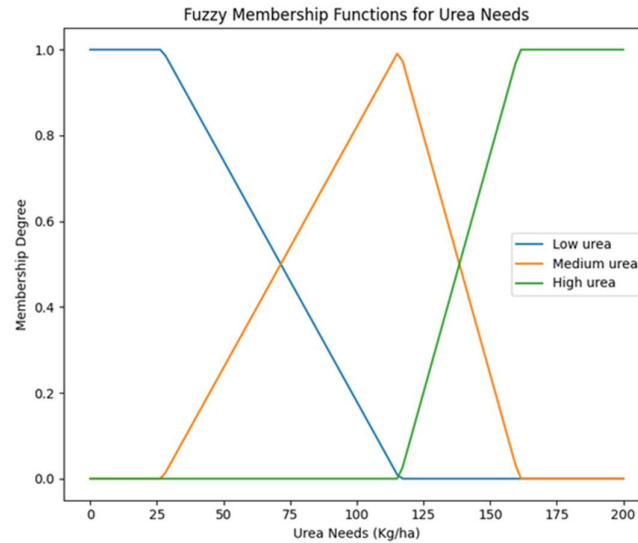


$$\mu_{Rendah}(x) = f(x) = \begin{cases} 0; & x \geq 30 \\ \frac{30 - x}{30 - 20}; & 20 \leq x \leq 30 \\ 1; & x \leq 20 \end{cases}$$

$$\mu_{Sedang}(x) = f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 20 \\ \frac{x - 20}{30 - 20}; & 20 \leq x \leq 30 \\ 1; & 30 < x \leq 40 \\ \frac{50 - x}{50 - 40}; & 40 < x \leq 50 \\ 0; & x > 50 \end{cases}$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 40 \\ \frac{x - 40}{50 - 40}; & 40 < x \leq 50 \\ 1; & x > 50 \end{cases}$$

4. Pupuk Urea

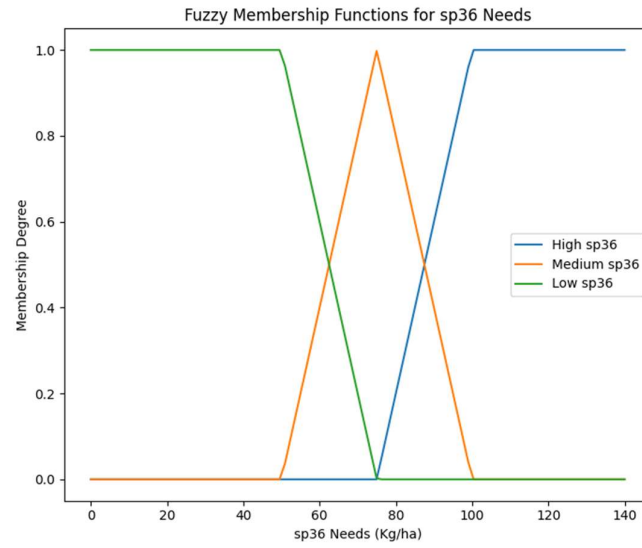


$$\mu_{Rendah}(x) = f(x) = \begin{cases} 1; & x \leq 27 \\ \frac{116 - x}{116 - 27}; & 27 \leq x \leq 116 \\ 0; & x > 116 \end{cases}$$

$$\mu_{Sedang}(x) = f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 27 \\ \frac{x - 27}{116 - 27}; & 27 < x \leq 116 \\ \frac{161 - x}{161 - 116}; & 116 < x \leq 161 \\ 0; & x > 161 \end{cases}$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 116 \\ \frac{x - 116}{161 - 116}; & 116 < x \leq 161 \\ 1; & x > 161 \end{cases}$$

5. Pupuk SP-36

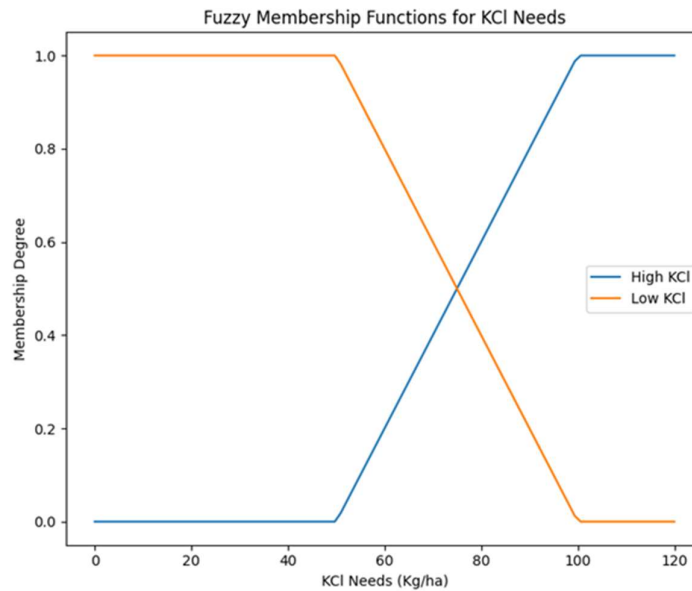


$$\mu_{Rendah}(x) = f(x) = \begin{cases} 1; & x \leq 50 \\ \frac{75 - x}{75 - 50}; & 50 \leq x \leq 75 \\ 0; & x > 75 \end{cases}$$

$$\mu_{Sedang}(x) = f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 50 \\ \frac{x - 50}{75 - 50}; & 50 < x \leq 75 \\ \frac{100 - x}{100 - 75}; & 75 < x \leq 100 \\ 0; & x > 100 \end{cases}$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 75 \\ \frac{x - 75}{100 - 75}; & 75 < x \leq 100 \\ 1; & x > 100 \end{cases}$$

6. Pupuk KCl



$$\mu_{Rendah}(x) = f(x) = \begin{cases} 1; & x \leq 50 \\ \frac{100 - x}{100 - 50}; & 50 \leq x \leq 100 \\ 0; & x > 100 \end{cases}$$
$$\mu_{Tinggi}(x) = f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 50 \\ \frac{x - 50}{100 - 50}; & 50 < x \leq 100 \\ 1; & x > 100 \end{cases}$$

Inferensi

Fungsi aturan inferensi adalah sebagai berikut:

If kadar N dalam tanah Rendah THEN pupuk urea Tinggi

If kadar N dalam tanah Sedang THEN pupuk urea Sedang

If kadar N dalam tanah Tinggi THEN pupuk urea Rendah

If kadar P dalam tanah Rendah THEN pupuk SP-36 Tinggi

If kadar P dalam tanah Sedang THEN pupuk SP-36 Sedang

If kadar P dalam tanah Tinggi THEN pupuk SP-36 Rendah

If kadar K dalam tanah Rendah THEN pupuk KCl Tinggi

If kadar K dalam tanah Sedang THEN pupuk KCl Rendah

If kadar K dalam tanah Tinggi THEN pupuk KCI Rendah

Defuzifikasi

Berapa pupuk KCL yang dibutuhkan apabila kadar Kalium dalam tanah adalah 45mg/100g ?

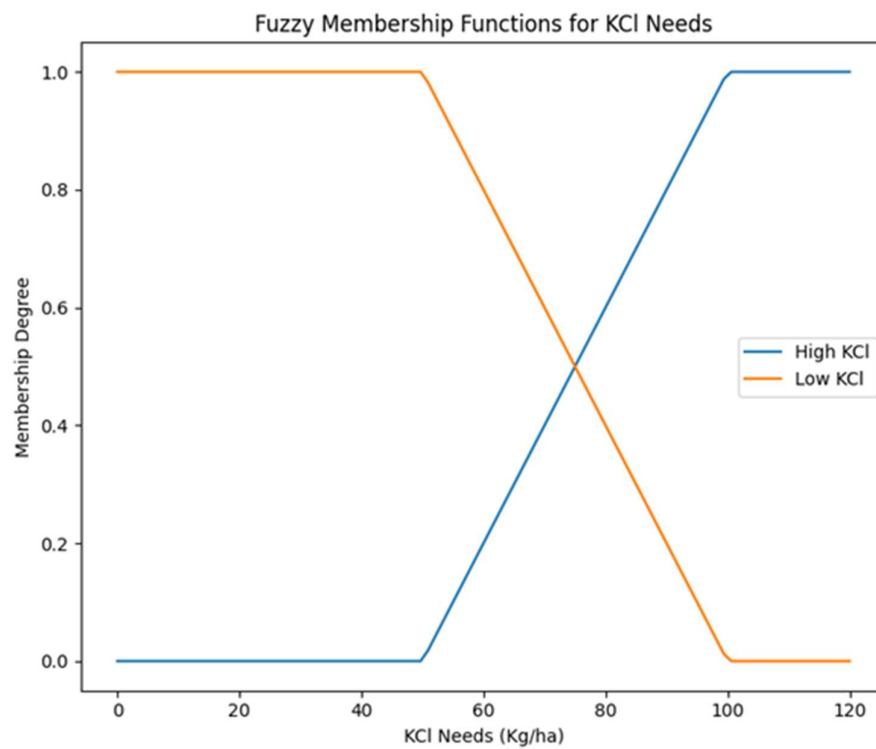
Derajat keanggotaan untuk kalium = 45

$$\mu_{Rendah}(45) = 0$$

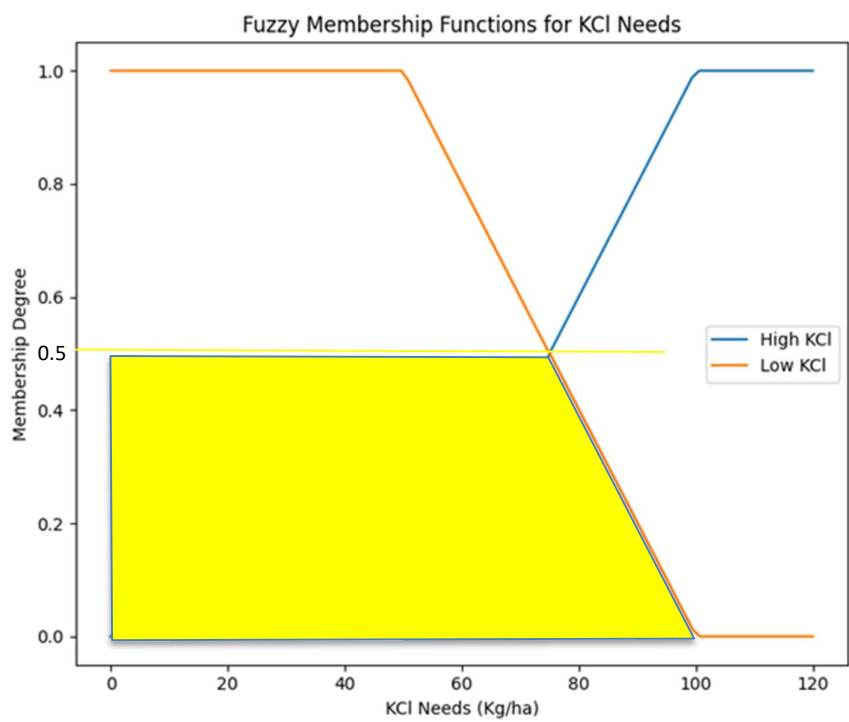
$$\mu_{Sedang}(45) = \frac{50 - 45}{50 - 40} = 0.5$$

$$\mu_{Tinggi}(45) = \frac{45 - 40}{50 - 40} = 0.5$$

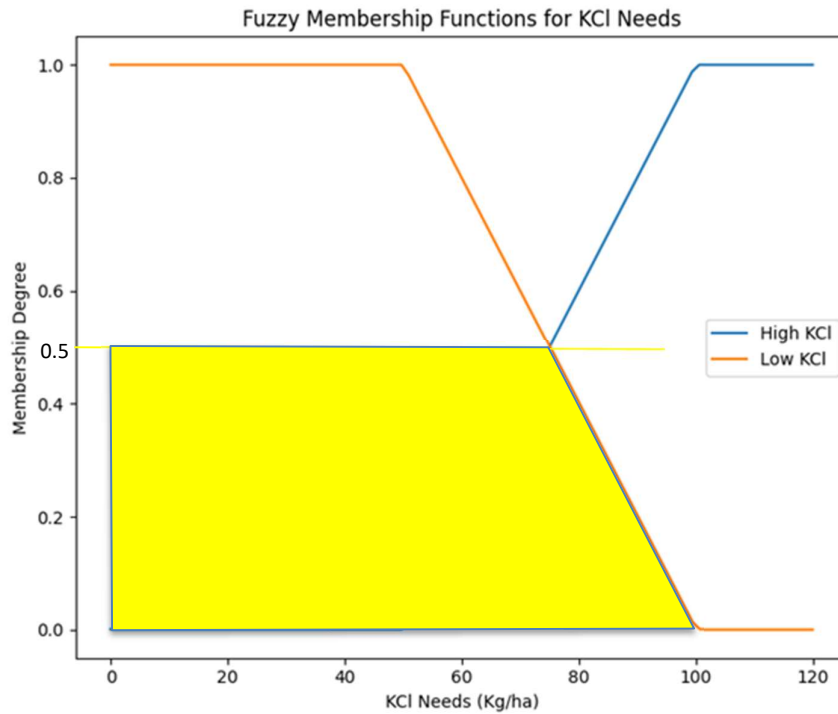
If kadar K dalam tanah Rendah THEN pupuk KCI Tinggi



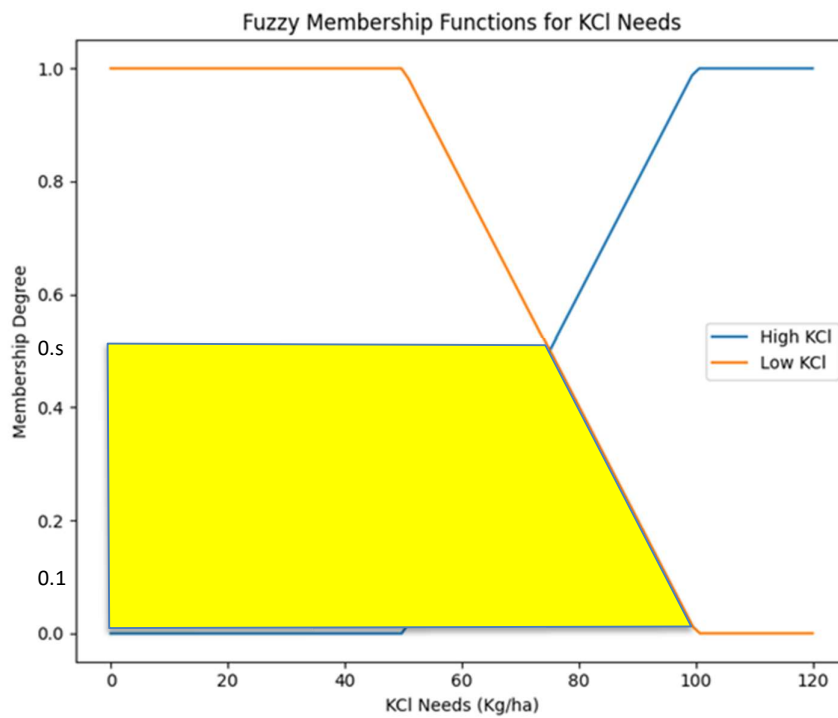
If kadar K dalam tanah Sedang THEN pupuk KCI Rendah



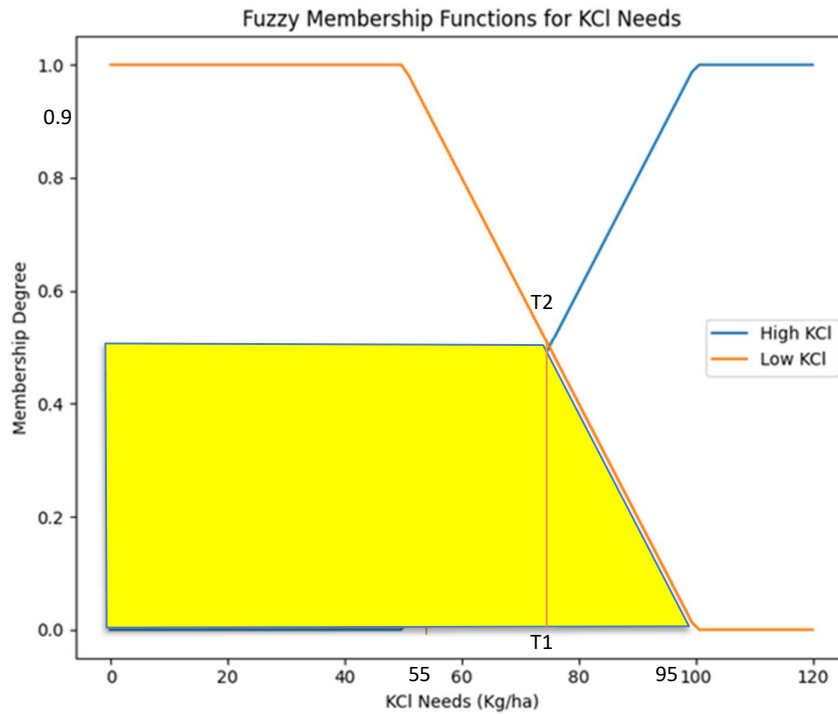
If kadar K dalam tanah Tinggi THEN pupuk KCI Rendah



Penggabungan grafik 1 dan 2 karena yang tertinggi dari setiap variabel linguistik



Defuzzyfikasi



Nilai t1

$$t1 = \frac{t1 - 50}{100 - 50} = 0.5$$

$$t1 = 75$$

Nilai t2

$$t2 = \frac{t2 - 50}{100 - 50} = 0.5$$

$$t2 = 75$$

Fungsi himpunan fuzzy baru

$$\mu(z) = \begin{cases} 0,5; & z < 75 \\ \frac{100 - z}{100 - 50}; & 75 \leq z \leq 100 \\ 0; & z > 100 \end{cases}$$

Menghitung Momen (M)

$$M1 = \int_0^{75} 0,5 z \, dz = \left[0,5 * \frac{1}{2} z^2 \right]_0^{75}$$

$$= 1406,25$$

$$M2 = \int_{75}^{100} \frac{100 - z}{100 - 50} z \, dz = 520,83$$

$$M3 = 0$$

Luas A

$$A1 = 75 * 0,5 = 37,5$$

$$A2 = (100 - 75) * 0,5 : 2 = 6,25$$

$$A3 = 0$$

Menghitung Z

$$z = \frac{\int \mu(z) z \, dz}{\int \mu(z) \, dz} = \frac{M1 + M2 + M3}{A1 + A2 + A3}$$

$$= \frac{1406,25 + 520,83}{37,5 + 6,25}$$

$$= 44$$

Implementasi

```
import os
import warnings
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import fuzzy_expert as fz

from fuzzy_expert.variable import FuzzyVariable
from fuzzy_expert.rule import FuzzyRule
from fuzzy_expert.inference import DecompositionalInference
```

Kode Python ini digunakan untuk menerapkan metode logika fuzzy untuk menentukan rekomendasi pemupukan tanah berdasarkan kadar kalium, nitrogen, dan potasium. Program ini juga mengimpor library fuzzy_expert untuk melakukan perhitungan dengan fuzzy mamdani.

```

variables_K = {
    "Kalium": FuzzyVariable(
        universe_range=(0, 100), terms={
            'Low': [(20, 1), (30, 0)],
            'Medium': [(20, 0), (30, 1), (40, 1), (50,0)],
            'High': [(40, 0), (42, 0.2), (45, 0.5), (48, 0.8), (50, 1)]
        }
    ),
    "KCl": FuzzyVariable(
        universe_range=(0, 300), terms={
            'Low': [(50, 1), (58, 0.8), (73, 0.5), (88, 0.2), (100, 0)],
            'High': [(50, 0),(100, 1)]
        }
    )
}

variables_N = {
    "Nitrogen": FuzzyVariable(
        universe_range=(0, 100), terms={
            'Low': [(0.2, 1), (0.3, 0)],
            'Medium': [(0.2, 0), (0.3, 1), (0.5,1) ,(0.6, 0)],
            'High': [(0.5, 0), (0.6, 1)]
        }
    ),
    "Urea": FuzzyVariable(
        universe_range=(0, 300), terms={
            'Low': [(27, 1), (116, 0)],
            'Medium': [(27, 0), (116, 1), (161, 0)],
            'High': [(116, 0), (123, 0.2), (136, 0.5), (150, 0.8), (161, 1)]
        }
    )
}

variables_P = {
    "Potassium": FuzzyVariable(
        universe_range=(0, 100), terms={
            'Low': [(20, 1), (22, 0.8), (25, 0.5), (28, 0.2), (30, 0)],
            'Medium': [(20, 0), (30,1), (40, 1), (50,0)],
            'High': [(40, 0), (42, 0.2), (45, 0.5), (48, 0.8), (50, 1)]
        }
    ),
    "SP36": FuzzyVariable(
        universe_range=(0, 300), terms={
            'Low': [(50, 1), (75, 0)],
            'Medium': [(50, 0), (75, 1),(100, 0)],
            'High': [(75, 0), (79, 0.2), (86, 0.5), (94, 0.8), (100, 1)]
        }
    )
}

```

Selanjutnya, variabel fuzzy kalium, nitrogen, dan potasium, serta rentang semestanya dan fungsi keanggotaan untuk istilah rendah, sedang, dan tinggi, didefinisikan. Variabel fuzzy yang sesuai untuk jenis pupuk (KCl, Urea, dan SP36) juga didefinisikan.

```

rules_N = [
    FuzzyRule(
        premise=[("Nitrogen", "Low")],
        consequence=[("Urea", "High")]
    ),
    FuzzyRule(
        premise=[("Nitrogen", "Medium")],
        consequence=[("Urea", "Medium")]
    ),
    FuzzyRule(
        premise=[("Nitrogen", "High")],
        consequence=[("Urea", "Low")]
    ),
]

rules_K = [
    FuzzyRule(
        premise=[("Kalium", "Low")],
        consequence=[("KCl", "High")]
    ),
    FuzzyRule(
        premise=[("Kalium", "Medium")],
        consequence=[("KCl", "Low")]
    ),
    FuzzyRule(
        premise=[("Kalium", "High")],
        consequence=[("KCl", "Low")]
    ),
]

rules_P = [
    FuzzyRule(
        premise=[("Potassium", "Low")],
        consequence=[("SP36", "High")]
    ),
    FuzzyRule(
        premise=[("Potassium", "Medium")],
        consequence=[("SP36", "Medium")]
    ),
    FuzzyRule(
        premise=[("Potassium", "High")],
        consequence=[("SP36", "Low")]
    ),
]

# Define the fuzzy inference model
model = DecompositionalInference(
    and_operator="min",
    or_operator="max",
    implication_operator="Rc",
    composition_operator="max-min",
    production_link="max",
    defuzzification_operator="cog",
)

```

Selanjutnya, aturan fuzzy dibuat untuk masing-masing nutrisi (Kalium, Nitrogen, dan Potasium) untuk menentukan jenis dan jumlah pupuk yang tepat. Model inferensi fuzzy

diinisialisasi menggunakan kelas `DecompositionalInference`, dengan menentukan operator untuk AND, OR, implikasi, komposisi, tautan produksi, dan defuzzifikasi..

```
kalium_input = float(input("Enter the Kalium level in soil (0.0-100): "))
nitrogen_input = float(input("Enter the Nitrogen level in soil (0.0 - 100): "))
potassium_input = float(input("Enter the Potassium level in soil (0.0-100): "))

# Perform inference for variables_N (Nitrogen and Urea)
result_N, inferred_cf_N = model(
    variables=variables_N,
    rules=rules_N,
    Nitrogen=nitrogen_input,
)

# Print the defuzzified inferred memberships for Nitrogen and Urea
print("Inference results for Nitrogen and Urea:")
for key, value in result_N.items():
    print(f"{key}: {value}")

# Print the inferred confidence level for Nitrogen and Urea
print(f"Inferred Confidence Level (Nitrogen and Urea): {inferred_cf_N}")

# Perform inference for variables_K (Kalium and KCl)
result_K, inferred_cf_K = model(
    variables=variables_K,
    rules=rules_K,
    Kalium=kalium_input,
)

# Print the defuzzified inferred memberships for Kalium and KCl
print("\nInference results for Kalium and KCl:")
for key, value in result_K.items():
    print(f"{key}: {value}")

# Print the inferred confidence level for Kalium and KCl
print(f"Inferred Confidence Level (Kalium and KCl): {inferred_cf_K}")

# Perform inference for variables_P (Potassium and SP36)
result_P, inferred_cf_P = model(
    variables=variables_P,
    rules=rules_P,
    Potassium=potassium_input,
)

# Print the defuzzified inferred memberships for Potassium and SP36
print("\nInference results for Potassium and SP36:")
for key, value in result_P.items():
    print(f"{key}: {value}")

# Print the inferred confidence level for Potassium and SP36
print(f"Inferred Confidence Level (Potassium and SP36): {inferred_cf_P}")
```

Kode ini kemudian meminta pengguna untuk memasukkan tingkat kalium (mg/100g), nitrogen (% dalam tanah), dan potasium (mg/100g) saat ini di tanah. Model kemudian menghitung masing-masing nutrisi secara terpisah, berdasarkan tingkat nitrogen dan urea, tingkat kalium dan KCl, dan tingkat potasium dan SP36.

Hasil inferensi terdiri dari keanggotaan yang didesufikasi untuk setiap jenis pupuk (Kg/ha) dan tingkat kepercayaan yang dicetak untuk pengguna. Rekomendasi pemupukan yang didasarkan pada kadar kalium, nitrogen, dan potasium yang dimasukkan selama proses ini akan dibuat dengan menggunakan teknik logika fuzzy. Teknik ini dapat membantu mengoptimalkan manajemen nutrisi tanah.

```
Enter the Kalium level in soil (0.0-100): 45
Enter the Nitrogen level in soil (0.0 - 100): 0.2
Enter the Potassium level in soil (0.0-100): 45
Inference results for Nitrogen and Urea:
Urea: 217.8565594691167
Inferred Confidence Level (Nitrogen and Urea): 1.0

Inference results for Kalium and KCl:
KCl: 44.04761904761908
Inferred Confidence Level (Kalium and KCl): 1.0

Inference results for Potassium and SP36:
SP36: 46.94444444444445
Inferred Confidence Level (Potassium and SP36): 1.0
```

Dari contoh diatas, apabila kadar kalium dalam tanah adalah 45 mg/100g maka pupuk KCL yang dibutuhkan adalah 44 Kg/ha. Apabila persen nitrogen dalam tanah adalah 0.2%, maka pupuk urea yang dibutuhkan adalah 217.85 Kg/ha. Apabila kadar potassium dalam tanah adalah 45mg/100g, maka pupuk SP36 yang dibutuhkan adalah 46Kg/ha.

BAB IV

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan model pengoptimalan penggunaan pupuk NPK dalam pertanian padi dengan menggunakan metode Fuzzy Mamdani. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Fuzzy Mamdani efektif dalam menangani ketidakpastian dan kompleksitas yang sering ditemukan dalam sistem pertanian padi. Dengan menggunakan himpunan fuzzy dan aturan if-then, metode ini mampu membuat keputusan yang lebih baik meskipun data yang tersedia tidak lengkap atau presisi.

Penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa faktor penting yang mempengaruhi kebutuhan pupuk, yaitu kadar nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dalam tanah. Selain itu, faktor-faktor seperti ketersediaan air, kondisi cuaca, dan kualitas tanah juga mempengaruhi efisiensi penggunaan pupuk NPK. Proses implementasi metode Fuzzy Mamdani melibatkan langkah-langkah pengumpulan data, fuzzifikasi, pembentukan aturan, inferensi, dan defuzzifikasi. Hasil inferensi memberikan rekomendasi penggunaan pupuk NPK yang lebih holistik dan tepat sasaran dengan pertimbangan terhadap parameter tanah yang lebih luas. Implementasi metode ini menunjukkan bahwa kebutuhan pupuk dapat disesuaikan berdasarkan kondisi tanah yang spesifik, sehingga penggunaan pupuk menjadi lebih efisien dan efektif. Penggunaan metode Fuzzy Mamdani dalam pengoptimalan pupuk NPK dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, menekan biaya produksi, dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Metode ini juga membantu menjaga kesuburan tanah jangka panjang, mengurangi risiko gagal panen, serta meningkatkan hasil panen dan kualitas padi.

REFERENSI

- Suarjana, I. W., Supadma A.A. Nyoman, & Arthagama I Dewa Made. (2015). Kajian Status Kesuburan Tanah Sawah Untuk Menentukan Anjuran Pemupukan Berimbang Spesifik Lokasi Tanaman Padi Di Kecamatan Manggis. *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika* , 4(4).
- Suhartono. (2009). *IDENTIFIKASI PERTUMBUHAN TANAMAN KEDELAI HITAM PADA PEMBERIAN KOMPOSISI PUPUK MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC*.
- Peraturan Menteri Pertanian Nomor 40/Permentan/Ot.140/4/2007
- Nugroho, S., Febriamansyah, R., Gunawan, D., & Doktoral, M. (2019). SIMULATION OF THE PADDY WATER CROP REQUIREMENT ON CLIMATE CHANGE SCENARIOS IN THE LEMBANG-SUMANI WATERSHED. In Jurnal Sumber Daya Air (Vol. 15, Issue 1). <http://jurnalsda.pusair-pu.go.id>
- Szejgis, J., Nielsen, U. N., Dijkstra, F. A., & Carrillo, Y. (2024). Prolonged drought moderates flood effects on soil nutrient pools across a rainfall gradient. *Soil Biology and Biochemistry*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109404>
- Zhao, Z., Cao, L., Sha, Z., Deng, J., Chu, C., Zhou, D., Wu, S., & Lv, W. (2020). Impacts of fertilization optimization on N loss from paddy fields: Observations and DNDC modeling case study in Shanghai, China. *Soil and Tillage Research*, 199, 104587. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2020.104587>