

Implementasi *Forward Chaining* Dalam Sistem Pakar Untuk Menentukan Dosis Pemupukan Tahunan Kelapa Sawit

DOI: <http://dx.doi.org/10.35889/jutisi.v14i3.3357>

Creative Commons License 4.0 (CC BY – NC)

Rayka Mulya Ramadhan^{1*}, Anita Fira Waluyo²

Informatika, Universitas Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

*e-mail Corresponding Author: raykamulyaramadhan@gmail.com

Abstrak

Proper fertilization of oil palm is crucial for increasing plant productivity, however farmers often face challenges in determining the correct fertilizer dosage based on plant conditions and soil types. This study aims to develop an expert system using the forward chaining method to determine the annual fertilizer dosage for oil palm. The forward chaining method was chosen due to its ability to draw conclusions progressively based on initial data (soil type and plant age). The system operates by applying pre-programmed rules to generate accurate fertilizer dosage recommendations. Testing results show that the system can provide precise dosages based on the age category and soil type of the oil palm. The implementation of this system is expected to assist oil palm farmers in improving agricultural efficiency.

Keywords: *Forward chaining; Expert system; Oil palm; Fertilizer dosage*

Abstrak

Pemupukan kelapa sawit yang tepat sangat penting untuk meningkatkan produktivitas tanaman, namun sering kali petani kesulitan dalam menentukan dosis pupuk yang sesuai dengan kondisi tanaman dan jenis tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pakar berbasis metode *forward chaining* dalam menentukan dosis pemupukan tahunan pada kelapa sawit. Metode *forward chaining* dipilih karena kemampuannya dalam menarik kesimpulan secara bertahap berdasarkan data awal (jenis tanah dan umur tanaman). Sistem ini bekerja dengan cara mengaplikasikan aturan (*rule*) yang sudah diprogramkan untuk menghasilkan rekomendasi dosis pupuk yang tepat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat memberikan dosis yang akurat sesuai dengan kategori umur dan jenis tanah kelapa sawit. Dengan implementasi sistem ini, diharapkan dapat membantu petani kelapa sawit dalam meningkatkan hasil pertanian secara efisien.

Kata kunci: *Forward chaining; Sistem pakar; Kelapa sawit; Dosis pupuk*

1. Pendahuluan

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan komoditas unggulan yang berkontribusi terhadap ekonomi lokal dan nasional [1]. Sebagai penghasil utama minyak nabati dunia, Indonesia menempati posisi teratas dalam kepemilikan luas lahan, produksi, dan ekspor minyak sawit mentah atau *Crude Palm Oil* (CPO) [2]. Namun demikian, dibalik tingginya kontribusi tersebut, terdapat permasalahan mendasar yang masih menjadi hambatan bagi peningkatan produktivitas dan efisiensi pengelolaan lahan, yaitu praktik pemupukan yang belum optimal.

Pemupukan merupakan faktor krusial dalam budidaya kelapa sawit karena memiliki kaitan langsung dengan ketersediaan unsur hara yang dibutuhkan tanaman pada setiap stadia pertumbuhan [3]. Keberhasilan pemupukan sangat ditentukan oleh ketepatan dosis, jenis, waktu, serta kondisi lahan [4]. Dalam praktiknya, masih banyak petani atau pelaku perkebunan yang menggunakan pendekatan konvensional dalam menentukan kebutuhan pupuk, seperti berdasarkan pengalaman subjektif, kebiasaan, atau rekomendasi umum yang belum tentu

sesuai dengan kondisi spesifik lahan dan tanaman [5]. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya pemupukan berlebih (*over-fertilization*) maupun kekurangan pemupukan (*under-fertilization*), yang berdampak pada peningkatan biaya produksi, penurunan hasil panen, serta pencemaran lingkungan akibat akumulasi residu kimia.

Seiring dengan berkembangnya teknologi informasi, pendekatan baru dalam mendukung pertanian presisi (*precision agriculture*) mulai banyak diterapkan, termasuk pemanfaatan sistem berbasis pengetahuan (*knowledge-based systems*) dalam pengambilan keputusan pertanian [6]. Salah satu metode yang relevan untuk diterapkan dalam konteks ini adalah *forward chaining*, yaitu pendekatan inferensia dalam sistem pakar (*expert system*) yang bekerja secara progresif dari data atau fakta menuju kesimpulan berdasarkan basis aturan yang telah ditentukan [7].

Dari penelitian yang pernah dilakukan oleh Khayun dan Firmansyah sebelumnya membuat sistem rekomendasi pemupukan [8] [9], metode ini dinilai cocok untuk merancang sistem rekomendasi pemupukan karena mampu menelusuri informasi dari kondisi awal lalu mencocokkannya dengan aturan-aturan pemupukan yang telah dibangun berdasarkan literatur.

2. Tinjauan Pustaka

Adopsi metode *forward chaining* dalam pengambilan keputusan pertanian khususnya sistem rekomendasi pemupukan pernah dilakukan oleh Khayun [8]. Penelitiannya menerapkan sistem pakar berbasis *forward chaining* untuk pemilihan pupuk pada tanaman bawang merah. Sistem tersebut menyusun rekomendasi berdasarkan gejala yang muncul akibat serangan hama serta kekurangan nutrisi, dan telah menunjukkan tingkat akurasi yang cukup tinggi dalam pengujian terbatas. Meskipun konteksnya berbeda karena bawang merah adalah tanaman semusim, keberhasilan metode ini mengindikasikan bahwa pendekatan berbasis aturan memiliki fleksibilitas dan potensi besar untuk diadaptasi pada tanaman tahunan seperti kelapa sawit, yang memiliki kebutuhan hara yang lebih kompleks dan variatif seiring bertambahnya usia.

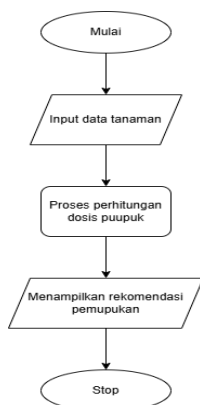
Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Firmansyah [9] menjadi salah satu contoh implementasi sistem rekomendasi pemupukan berbasis web yang cukup relevan. Sistem tersebut memanfaatkan data input berupa umur tanaman, luas lahan, dan curah hujan untuk menghasilkan rekomendasi mengenai jenis, dosis, dan waktu aplikasi pupuk. Dengan menggunakan metode *forward chaining*, proses inferensi dalam sistem ini dilakukan dengan menggabungkan domain pengetahuan mengenai tanah, tanaman, dan curah hujan. Namun penelitian ini belum terintegrasi dengan platform digital.

Berangkat dari dua penelitian sebelumnya, Penelitian ini menggabungkan metode *forward chaining* dengan platform digital seperti aplikasi web, harapannya dapat menunjukkan potensi besar dalam menghadirkan solusi teknologi yang mudah diakses [10] oleh petani maupun pelaku industri perkebunan.

3. Metodologi

3.1 Forward Chaining

Metode *forward chaining* merupakan salah satu pendekatan inferensi dalam sistem pakar yang bekerja berdasarkan prinsip *data-driven* [11].



Gambar 1. Alur Proses *Forward Chaining* dalam Sistem

Pendekatan ini memulai proses penalaran dari data atau fakta awal, kemudian menerapkan serangkaian aturan (*rules*) untuk menarik kesimpulan secara bertahap. Proses ini berlangsung terus menerus hingga sistem mencapai kesimpulan akhir yang sesuai [12].

Dalam sistem ini, proses dimulai dari pengguna yang menginput data berupa umur tanaman, luas lahan, dan SPH. Data tersebut kemudian diproses oleh mesin inferensi yang akan mencocokkannya dengan aturan-aturan yang terdapat dalam basis pengetahuan. Melalui pendekatan forward chaining, sistem akan menelusuri fakta-fakta input untuk menghasilkan kesimpulan berupa dosis pupuk yang disarankan. Berikut ini algoritma forward chaining untuk mendapatkan hasil dosis pupuk:

```

IF jenis_tanah AND umur THEN dosis_per_pohon
IF dosis_per_pohon diketahui
AND SPH diketahui
AND luas_lahan diketahui
THEN total_dosis = dosis_per_pohon * SPH * luas_lahan
  
```

3.2 Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dari studi literatur. Selain data dosis dari studi literatur ini, diperlukan juga inputan dari luar data yaitu, SPH dan luas lahan untuk mendapatkan hasil rekomendasi pupuk dari sistem ini. Berikut data dosis pupuk tanaman kelapa sawit fase TM (Tanaman Menghasilkan) dengan 2 kondisi tanah yaitu.

Tabel 1. Standar dosis pemupukan TM pada tanah gambut

Kelompok Umur (Tahun)	Dosis Pupuk (kg/pohon/tahun)			
	N (Urea)	P (Rock Phospate)	K (MOP KCl)	Dolomit
3-8	2	1,75	1,50	1,50
9-13	2,50	2,75	2,25	2
14-20	1,50	2,25	2	2
21-25	1,50	1,50	1,25	1,50

Tabel 2. Standar dosis pemupukan TM pada tanah mineral

Kelompok Umur (Tahun)	Dosis Pupuk (kg/pohon/tahun)			
	N (Urea)	P (SP-36)	K (MOP KCl)	Kieserite
3-8	2	1,50	1,50	1
9-13	2,75	2,25	2,25	1,50
14-20	2,50	2	2	1,50
21-25	1,75	1,25	1,25	1

3.2 Rancang Tampilan Sistem

Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah sistem berbasis web yang memberikan rekomendasi dosis pemupukan tahunan pada tanaman kelapa sawit berdasarkan metode forward chaining. Sistem ini dirancang untuk membantu petani atau pihak pengelola kebun dalam menentukan jenis dan jumlah pupuk yang dibutuhkan, dengan mempertimbangkan parameter umur tanaman, jenis tanah, serta SPH dan luas lahan.

Gambar 2 adalah contoh hasil rekomendasi pupuk berdasarkan inputan opengguna umur tanaman 9 tahun, jenis tanah gambut, SPH 140, dan luas lahan 2ha. Berdasarkan input tersebut, sistem akan menelusuri aturan-aturan yang telah ditetapkan dalam basis pengetahuan guna menentukan dosis pupuk yang sesuai untuk masing-masing jenis pupuk, seperti urea, fosfat, kalium, dolomit, dan atau kieserite. Proses penalaran dilakukan secara maju, dimulai dari fakta-fakta yang diberikan oleh pengguna menuju kesimpulan berupa dosis pupuk per pohon dan total dosis yang diperlukan untuk luasan lahan tertentu yang berdasarkan input pengguna.

Sistem Rekomendasi Pemupukan Kelapa Sawit

Umur Tanaman (tahun)

SPH (pohon/hektar)

Luas Lahan (hektar)

Jenis Tanah

Gambut
▼

Hitung Dosis Pupuk

Hasil Rekomendasi

Jenis Tanah: gambut

Umur Tanaman: 9 tahun

SPH: 140 pohon/hektar

Luas Lahan: 2.0 hektar

Dosis Pupuk per Pohon (kg)

- Urea: 2.5
- Fosfat: 2.75
- Kalium: 2.25
- Dolomit: 2.0

Total Dosis Pupuk (kg)

- Urea: 700.0
- Fosfat: 770.0
- Kalium: 630.0
- Dolomit: 560.0

Gambar 2. Tampilan Web Sistem

3.3 Pengujian

Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil yang keluar di sistem dengan rekomendasi menurut pakar dari data yang menjadi acuan untuk setiap scenario uji [13]. Setiap hasil yang dinyatakan sesuai diberi nilai 1, sedangkan hasil yang tidak sesuai diberi nilai 0. Nilai akurasi dihitung menggunakan rumus jumlah hasil dibagi jumlah seluruh data uji dikalikan 100 persen.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Sampel Data Penelitian

Data pada tabel 3 menampilkan hasil rekomendasi pupuk dari sistem yang telah dirancang.

Tabel 3. Sampel data

No	Parameter	Hasil Rekomendasi Sistem (dosis per pohon)
1	-tanah gambut -umur 9 tahun	-Urea=2,5 -Phospate=2,75 -KCl=2,25 -Dolomit=2
2	-tanah mineral -umur 7 tahun	-Urea=2 -Phospate=2,25 -KCl=2,25 -Kieserite=1,5
3	-tanah mineral -umur 20 tahun	-Urea=2,5 -Phospate=2 -KCl=2 -Kieserite=1,5
4	-tanah mineral -umur 10 tahun	-Urea=2,75 -Phospate=2,25 -KCl=2,25 -Kieserite=1,5
5	-tanah gambut -umur 20 tahun	-Urea=1,5 -Phospate=2,25 -KCl=2 -Dolomit=2
6	-tanah mineral -umur 3 tahun	-Urea=2 -Phospate=1,5

Implementasi Forward Chaining Dalam Sistem Pakar (Rayka Mulya Ramadhan)

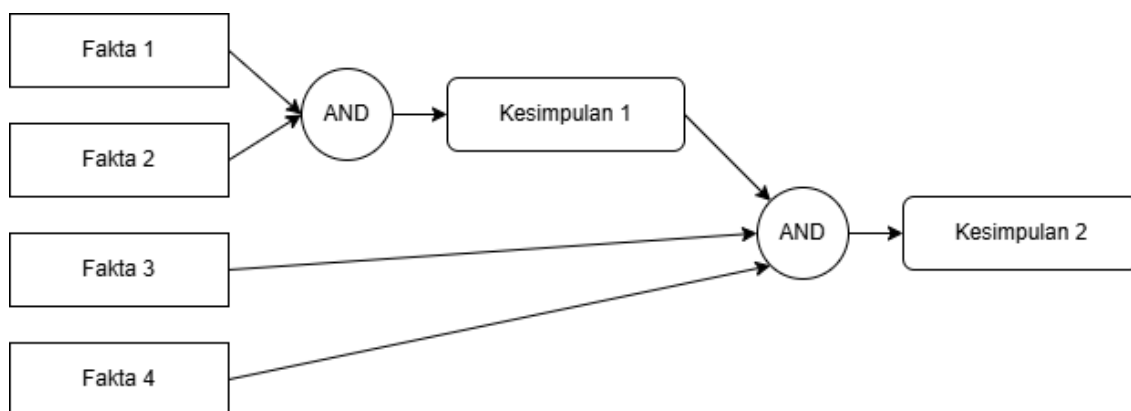
No	Parameter	Hasil Rekomendasi Sistem (dosis per pohon)
7	-tanah gambut -umur 11 tahun	-KCl=1,5
		-Kieserite=1
		-Urea=2,5
		-Phospate=2,75
		-KCl=2,25
8	-tanah gambut -umur 5 tahun	-Dolomit=2
		-Urea=2
		-Phospate=1,75
		-KCl=1,5
		-Dolomit=1,5

4.2 Proses Penentuan dosis

Pengguna perlu memasukkan fakta-fakta yang ada pada tanaman untuk menghasilkan rekomendasi pupuk. Berikut penjelasan algoritma pada Gambar 3:

Fakta 1 = jenis tanah, Fakta 2 = umur tanaman, Fakta 3 = luas lahan, dan Fakta 4 = SPH.

Fakta 1 dan Fakta 2 akan menghasilkan dosis pupuk per pohon, setelah itu dilanjutkan dengan Fakta 3 dan Fakta 4 untuk menghitung keseluruhan dosis pupuk untuk suatu lahan tanam.



Gambar 3. Algoritma Forward Chaining Dalam Menentukan Dosis

4.3 Hasil Pengujian Performa Algoritma

Hasil pengujian akurasi kinerja algoritma *forward chaining* dilakukan dengan cara membandingkan hasil yang keluar dari sistem dengan standar pupuk yang berlaku. Pada Tabel 4 didapat hasil dari uji menggunakan data sampel.

Tabel 4. Tabel Pengujian

No	Parameter	Hasil Rekomendasi Sistem (dosis per pohon)	Standar Pupuk (dosis per pohon)	Keterangan
1	-tanah gambut -umur 9 tahun	-Urea=2,5	-Urea=2,5	Sesuai
		-Phospate=2,75	-Phospate=2,75	
		-KCl=2,25	-KCl=2,25	
		-Dolomit=2	-Dolomit=2	
2	-tanah mineral -umur 7 tahun	-Urea=2	-Urea=2	Sesuai
		-Phospate=2,25	-Phospate=2,25	
		-KCl=2,25	-KCl=2,25	
		-Kieserite=1,5	-Kieserite=1,5	
3	-tanah mineral -umur 20 tahun	-Urea=2,5	-Urea=2,5	Sesuai
		-Phospate=2	-Phospate=2	
		-KCl=2	-KCl=2	
		-Kieserite=1,5	-Kieserite=1,5	
4	-tanah mineral	-Urea=2,75	-Urea=2,75	Sesuai

No	Parameter	Hasil Rekomendasi Sistem (dosis per pohon)	Standar Pupuk (dosis per pohon)	Keterangan
5	-umur 10 tahun	-Phospate=2,25 -KCl=2,25 -Kieserite=1,5	-Phospate=2,25 -KCl=2,25 -Kieserite=1,5	Sesuai
	-tanah gambut	-Urea=1,5	-Urea=1,5	
	-umur 20 tahun	-Phospate=2,25 -KCl=2 -Dolomit=2	-Phospate=2,25 -KCl=2 -Dolomit=2	
6	-tanah mineral	-Urea=2	-Urea=2	Sesuai
	-umur 3 tahun	-Phospate=1,5 -KCl=1,5 -Kieserite=1	-Phospate=1,5 -KCl=1,5 -Kieserite=1	
	-tanah gambut	-Urea=2,5	-Urea=2,5	
7	-umur 11 tahun	-Phospate=2,75 -KCl=2,25 -Dolomit=2	-Phospate=2,75 -KCl=2,25 -Dolomit=2	Sesuai
	-tanah gambut	-Urea=2	-Urea=2	
	-umur 5 tahun	-Phospate=1,75 -KCl=1,5 -Dolomit=1,5	-Phospate=1,75 -KCl=1,5 -Dolomit=1,5	

$$Akurasi = \frac{Sesuai}{Total Uji} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$Akurasi = \frac{8}{8} \times 100\%$$

$$Akurasi = 100\%$$

Dari hasil perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa sistem pakar ini berfungsi dengan baik dan layak untuk digunakan karena tingkat akurasi sistem mencapai 100% [13].

4.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian, disimpulkan bahwa sistem rekomendasi menentukan dosis pupuk berbasis teknologi dengan metode forward chaining ini berjalan dengan baik dengan akurasi mencapai 100%. Sistem yang dirancang untuk meniru cara berpikir dan mengambil keputusan layaknya seorang pakar [15] dapat memberikan kemudahan dalam menentukan dosis dan jenis pupuk secara otomatis, akurat, dan berbasis data, sehingga dapat mengurangi kesalahan dalam praktik pemupukan.

Daftar Referensi

- [1] K. P. M. Montoya P. Pratama, C. P. Sukmawati, and A. Z. Abidin, "Global Dominance in Crude Palm Oil (CPO): Strategic Factors Shaping Indonesia's Competitive Edge—A Panel Data Approach," *Buletin Ilmiah Litbang Perdagangan*, vol. 18, no. 2, pp. 141-158, 2024.
- [2] H. F. Yumna and P. Perdana, "Perkembangan Ekspor Minyak Kelapa Sawit (Crude Palm Oil Indonesia)," *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, vol. 9, no. 21 pp. 361-375, 2023.
- [3] Afifuddin, Hariyadi, and Suwanto, "Pemupukan Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) pada Tanaman Menghasilkan di Kebun Petapahan, Kampar, Riau," *Buletin Agrohorti*, vol. 11, no. 1 pp. 51-58, 2023.
- [4] R. Mirasari, A. Hidayat, and M. S. Suparto, "Analisis Korelasi Terhadap Produksi Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dan Pemupukan NPK," *Jurnal Agrisistem*, vol. 19, no. 2, pp. 150-158, 2023.
- [5] F. Roosmawati, A. Widjajanto, T. Ningsih, and M. S. Gunawan, "Manajemen Pemupukan Tanaman Belum Menghasilkan Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.)," *Jurnal ilmiah Magister Manajemen*, vol. 7, no. 1 pp. 23-34, 2024.

-
- [6] F. W. Wibowo, A. Suunyoto, B. Setiaji, and Wihayati, "Knowlegde-Based Decision Support System for Determining Types of Agricultural Corps According to Soil Conditions," *Journal of Computer System and Informatics*, vol. 6, no. 1, pp. 253-264, 2024.
- [7] K. D. Goda and J. R. Bay, "Forward Chaining Method in Expert System for Diagnosing Pests and Plant Diseases: A Systematic Literature Review," *Journal of Artificial Intelligence & Engineering Applications*, vol. 10, no. 3, pp. 871-889, 2024.
- [8] W. W. Khayun, N. A. Ramdhan, and R. M. H. Bhakti, "Sistem Pakar Pemilihan Pupuk Untuk Tanaman Bawang Merah Menggunakan Metode Forward Chaining Berbasis Website," *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, vol. 8, no. 4, pp. 7589–7596, 2024.
- [9] E. Firmansyah, S. I. Dewi, and A. Umami, "Pembangunan Sistem Rekomendasi Pemupukan Berbasis Web Bagi Perkebunan Kelapa Sawit Rakyat", *Jurnal Pertanian Agros*, vol. 23, no. 1, pp. 109-120, 2021.
- [10] N. Haryanti and A. Marsono, "Strategi Implementasi Pengembangan Perkebunan Kelapa Sawit Di Era Industri 4.0", *Jurnal Dinamika Ekonomi Syariah*, vol. 8, no. 1, pp. 76-87, 2021.
- [11] N. F. Putri, D. Anggraeni, and P. Putri, "Teknik Forward Chaining Dalam Sistem Pakar Mendeteksi Penyakit Gangguan Kesehatan Mental," *Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi*, vol. 4, no. 2 pp. 700-712, 2024.
- [12] D. D. Prayogo , A. Srirahayu ,and I. Oktaviani, "Sistem Pakar Dengan Metode Forward Chaining Dalam Menentukan Penyakit Pada Sapi Berbasis Web," *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 13, no. 2, pp. 932-945, 2024.
- [13] H. Pudjianto , A. S. Fitrani , R. Dijaya , and Suprianto, "Sistem Pakar Manajemen Risiko Untuk Pengembangan Aplikasi Menggunakan Metode Forward Chaining," *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 13, no. 2, pp. 1196-1205, 2024.
- [14] D. R. I. Diana , Samsudin , and M. D. Irawan, "Kombinasi Metode Certainty Factor dan Forward Chaining Dalam Sistem Pakar Diagnosis Mandiri Mental Illness," *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 12, no. 3, pp. 1427-1438, 2023.
- [15] A. S. Siregar, W. A. Ritonga, and S. Samsir, "Sistem Pakar Pemilihan Jurusan Kuliah Berdasarkan Minat dan Bakat Metode Certainty Factor (CF)", *Computer Science Research And Its Development Journal*, vol. 17, no. 2, pp. 163-175, 2025.