Klasifikasi Kesuburan Tanah Pada Tanaman Cabai Dengan Metode *K-Nearest Neighbors* (KNN)

1st Qonita Salisa Faza
Fakultas Informatika
S1 Teknik Informatika
Banyumas, Indonesia
qonitasalisafaza@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Paradise
Fakultas Informatika
S1 Teknik Informatika
Banyumas, Indonesia
paradise@telkomuniversity.ac.id

3rd Sudianto
Fakultas Informatika
S1 Teknik Informatika
Banyumas, Indonesia
raafiu@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Tanaman cabai membutuhkan kondisi tanah yang subur untuk mendukung pertumbuhan dan hasil produksi, namun petani di wilayah Karangreja masih mengalami kesulitan dalam mengetahui tingkat kesuburan tanah sebelum penanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan kesuburan tanah pada tanaman cabai di Karangreja menggunakan metode K-*Nearest Neighbors* (KNN) berdasarkan parameter tanah berupa pH tanah, kelembaban tanah, dan suhu tanah yang diperoleh melalui sensor sebagai perantara pengambilan data. Data penelitian berasal dari 42 lahan kebun dengan total 3.885 data pengukuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode KNN memiliki kinerja yang sangat baik dengan nilai akurasi rata-rata sebesar 0,9946 berdasarkan evaluasi *Stratified K-Fold Cross Validation*, dengan nilai akurasi pada lima *fold* berturut-turut sebesar 99,74%, 99,36%, 99,74%, 99,49%, dan 98,97%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode KNN efektif dalam mengklasifikasikan kesuburan tanah dan berpotensi membantu petani dalam pengelolaan lahan serta peningkatan produktivitas tanaman cabai.

Kata kunci — Cabai, Kesuburan Tanah, Klasifikasi, K-*Nearest Neighbors* (KNN), Parameter Tanah, *Internet of Things* (IoT)

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang sebagian besar perekonomiannya bergantung pada pertanian, penduduknya sebagian besar bekerja di bidang pertanian. Hasil dari pertanian menjadi komponen yang paling penting untuk kehidupan . Pada tahun 2021, sektor pertanian di Indonesia menunjukkan pertumbuhan positif sebesar 1,84% (*year on year*) dan memberikan kontribusi sebesar 13,28% terhadap perekonomian nasional. Selanjutnya, pada Triwulan II tahun 2022, sektor pertanian tetap menunjukkan konsistensi pertumbuhan dengan nilai sebesar 1,37% (year on year) serta berkontribusi sebesar 12,98. Kondisi ini menunjukkan bahwa sektor pertanian masih memegang peranan strategis dalam perekonomian Indonesia, sehingga diperlukan berbagai upaya inovatif untuk mempertahankan dan meningkatkan peran sektor pertanian di tengah tantangan agrikultur yang semakin kompleks [2]. Salah satu aspek penting dalam kegiatan pertanian adalah kondisi kesuburan tanah. Kesuburan tanah merupakan faktor utama yang memengaruhi pertumbuhan tanaman dan hasil produksi pertanian. Beberapa parameter lingkungan yang berpengaruh terhadap kesuburan tanah antara lain tingkat keasaman tanah (pH), kelembaban tanah, dan suhu tanah. Ketidaksesuaian nilai parameter tersebut dapat menyebabkan terganggunya penyerapan unsur hara oleh tanaman, menurunnya kualitas tanah, serta berpotensi menurunkan produktivitas pertanian. Oleh karena itu, pemantauan kondisi kesuburan tanah secara berkelanjutan menjadi hal yang sangat penting dalam pengelolaan lahan pertanian [3]. Pemantauan dan pengelolaan kondisi lingkungan sangat penting untuk memastikan pertumbuhan tanaman yang optimal dan menjaga kesuburan tanah secara berkelanjutan [4]. Tanaman cabai merupakan salah satu komoditas hortikultura unggulan yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan banyak dibudidayakan oleh petani di Kecamatan Karangreja, Kabupaten Purbalingga. Namun, Petani di wilayah tersebut masih sering menghadapi masalah seperti tingkat keasaman tanah yang tidak stabil. Permasalahan ini sering kali menyulitkan petani dalam menentukan kondisi lahan yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman cabai secara optimal dan perubahan suhu ekstrim, terutama selama musim hujan.

Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan metode yang dapat mengklasifikasikan tingkat kesuburan tanah berdasarkan data tanah lingkungan . Salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan klasifikasi adalah algoritma *K - Nearest Neighbors* (KNN). Algoritma *K-Nearest Neighbors* (KNN) merupakan salah satu metode klasifikasi dalam pembelajaran mesin yang menentukan kelas suatu data berdasarkan tingkat kedekatan atau kemiripannya dengan data lain yang berada di sekitarnya. KNN termasuk ke dalam metode *lazy learning* karena tidak memerlukan proses pelatihan model secara eksplisit sebelum tahap klasifikasi dilakukan. Proses klasifikasi dilakukan setelah data latih dan data uji tersedia [5]. Dalam penelitian ini, data kondisi tanah yang meliputi tanah suhu, tingkat keasaman (pH), dan tanah kelembaban digunakan sebagai parameter dalam proses klasifikasi kesuburan tanah dengan menggunakan metode *K - Nearest Neighbors* (KNN) . data

yang disebutkan di atas diperolehtersebut diperoleh melalui sensor tanah yang berfungsi sebagai lapangan pengambilan data oleh sensor tanah yang berfungsi sebagai lapangan pengambilan data . Hasil hasil pengukuran tersebut kemudian digunakan sebagai masukan untuk proses pengklasifikasian tingkat kesuburan tanah ke dalam kategori tertentu berdasarkan karakteristik data .dariPengukuran tersebut kemudian digunakan sebagai masukan untuk proses pengklasifikasian tingkat kesuburan tanah ke dalam kategori tertentu berdasarkan karakteristik data tersebut .

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan model klasifikasi kesuburan tanah pada tanaman cabai di daerah karangreja menggunakan metode K-*Nearest Neighbors* (KNN). Dengan model yang dibuat dapat membantu para petani di Karangreja untuk membuat keputusan pertanian yang lebih tepat dan cepat, yang akan meningkatkan produktivitas dan mengurangi risiko gagal panen.

II. KAJIAN TEORI

A. Kesuburan Tanah

Kesuburan tanah merupakan kemampuan tanah dalam menyediakan unsur hara, air, dan kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhan serta produktivitas tanaman. Tingkat kesuburan tanah yang rendah dapat menyebabkan penurunan hasil panen hingga kegagalan produksi pertanian [11]. Kesuburan tanah dipengaruhi oleh faktor fisik, kimia, dan biologi tanah, serta kondisi iklim yang memengaruhi kelembaban dan suhu tanah [12]. Parameter utama yang berperan dalam menentukan kesuburan tanah meliputi tingkat keasaman tanah (pH), kelembaban tanah, dan suhu tanah. pH tanah memengaruhi ketersediaan unsur hara, sedangkan suhu dan kelembaban tanah berpengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme serta penyerapan nutrisi oleh tanaman [13]. Tanaman cabai tumbuh optimal pada suhu 25–30°C dan kelembaban tanah sekitar 60–80%, sehingga ketidaksesuaian parameter tersebut dapat menurunkan produktivitas tanaman [14].

B. Tanaman Cabai

Cabai (*Capsicum* spp.) merupakan tanaman hortikultura bernilai ekonomi tinggi yang dibudidayakan secara luas sebagai bahan pangan dan rempah. Beberapa spesies cabai yang umum dibudidayakan antara lain *Capsicum annuum L.*, *Capsicum frutescens L.*, dan *Capsicum chinense Jacq.* Perbedaan spesies cabai dapat dikenali melalui karakteristik morfologis seperti bentuk buah dan bunga [17][18]. Pertumbuhan tanaman cabai sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah, khususnya pH, kelembaban, dan suhu tanah.

C. Sensor pH

Tanah Sensor pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan tanah berdasarkan aktivitas ion hidrogen. Sensor ini bekerja menggunakan elektroda yang sensitif terhadap perubahan ion hidrogen dan menghasilkan nilai pH yang merepresentasikan kondisi kimia tanah. Informasi pH tanah penting untuk menentukan ketersediaan unsur hara bagi tanaman [19].

D. Sensor Kelembaban Tanah

Sensor kelembaban tanah berfungsi untuk mengukur kadar air dalam tanah berdasarkan perubahan konduktivitas listrik. Kelembaban tanah berperan penting dalam menjaga keseimbangan air dan udara di dalam tanah serta mendukung penyerapan nutrisi oleh akar tanaman. Pada penelitian ini digunakan sensor YL-69 yang bekerja pada tegangan 3,3–5 V [20][21][22].

E. Sensor Suhu Tanah

Suhu tanah memengaruhi aktivitas fisik, kimia, dan biologis di dalam tanah, termasuk aktivitas mikroorganisme dan penyerapan unsur hara oleh tanaman. Sensor suhu DS18B20 digunakan untuk mengukur suhu tanah secara digital. Suhu optimal untuk pertumbuhan tanaman cabai berada pada kisaran 18–30°C [23][24].

F. ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang digunakan sebagai pusat pengendali dalam sistem pemantauan tanah pada penelitian ini. ESP32 berfungsi untuk membaca data dari sensor pH tanah, sensor kelembaban tanah, dan sensor suhu tanah, kemudian mengirimkan data tersebut secara real-time ke platform pemantauan berbasis web. ESP32 memiliki konektivitas WiFi dan Bluetooth serta bekerja pada tegangan 3,3 V, sehingga sesuai untuk diterapkan pada sistem pemantauan tanah berbasis sensor [25].

G. K-Nearest Neighbors (KNN)

K-*Nearest Neighbors* (KNN) merupakan algoritma klasifikasi supervised learning yang menentukan kelas suatu data berdasarkan kedekatan jarak dengan data latih terdekat. Algoritma ini menggunakan parameter pH tanah, kelembaban tanah, dan suhu tanah sebagai fitur input. Perhitungan jarak dilakukan menggunakan metode Euclidean Distance, dan kelas dengan jumlah kemunculan terbanyak dari K tetangga terdekat ditetapkan sebagai hasil klasifikasi [27].

H. Perangkat Lunak Pendukung

Python digunakan sebagai bahasa pemrograman untuk pengolahan data dan implementasi algoritma KNN karena kemudahan sintaks dan dukungan pustaka yang lengkap [28][29]. Visual Studio Code digunakan sebagai editor kode, sedangkan Arduino IDE digunakan untuk pemrograman mikrokontroler ESP32 [30][31].

III. METODE

Penelitian ini menggunakan data primer yang diperoleh dari sensor pH tanah, sensor kelembaban tanah, dan sensor suhu tanah yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32. Data dikirimkan ke platform IoT Ubidots dan disimpan dalam bentuk dataset. Tahapan penelitian meliputi pengambilan data sensor, preprocessing data, pelabelan tingkat kesuburan tanah, normalisasi data, serta implementasi algoritma K-Nearest Neighbors (KNN). Evaluasi performa model dilakukan menggunakan metode Stratified K-Fold Cross Validation dengan metrik accuracy, precision, recall, dan F1-score.

A. Sumber Data

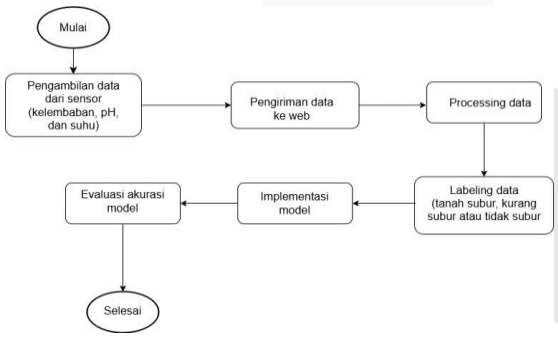
Penelitian ini menggunakan data primer yang diperoleh dari hasil pengukuran langsung kondisi tanah pada lahan tanaman cabai di Desa Kutabawa, Kecamatan Karangreja. Data dikumpulkan menggunakan sensor pH tanah, sensor kelembaban tanah, dan sensor suhu tanah yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32. Pengambilan data dilakukan pada rentang waktu pukul 09.00–12.00 WIB untuk memperoleh kondisi lingkungan yang relatif stabil. Data yang dikumpulkan meliputi nilai pH tanah, kelembaban tanah, dan suhu tanah, yang selanjutnya digunakan sebagai dataset penelitian.

TABEL 1
(Contoh Data Mentah Hasil Pengambilan Sensor Tanah)

No	pH Tanah	Kelembaban	Suhu
1	4,83	46,0	21,56
2	4,85	48,0	21,56
3	4,83	49,0	21,56
4	4,81	49,0	21,56
5	4,8	49,0	21,56
.....	.....	.....	.....
4204	6,02	71,0	26,10
4205	6,08	73,0	26,25
4206	6,11	74,0	26,30
4207	6,15	72,0	26,35
4208	6,18	75,0	26,40

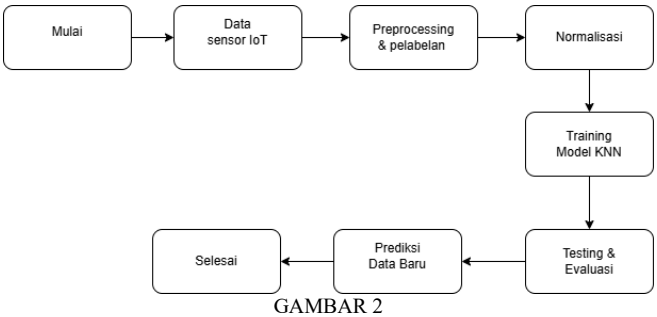
B. Alur Penelitian

Alur penelitian dimulai dari pengambilan data kondisi tanah menggunakan sensor, kemudian data dikirimkan secara real-time ke platform Ubidots melalui ESP32. Data yang terkumpul selanjutnya melalui tahap preprocessing, pelabelan tingkat kesuburan tanah, normalisasi data, dan implementasi algoritma K-Nearest Neighbors (KNN). Tahap akhir penelitian adalah evaluasi performa model klasifikasi.



GAMBAR 1
(Diagram Alir Penlitian)

Diagram alir penelitian ini menggambarkan alur kegiatan penelitian yang dilakukan secara sistematis, mulai dari pengumpuan data hingga pada tahap analisis model. Berdasarkan gambar 3.1, alur penelitian dimulai dari proses pengambilan data sensor, pengiriman data ke *platform*/web ubidots lalu ada pemrosesan data dilanjut dengan *labeling* data, implementasi model KNN hingga evaluasi akurasi model. Pada setiap tahapan pada diagram alir penelitian ini akan dijelaskan secara rinci sebagai berikut.



GAMBAR 2
(Diagram Alir Alur Pembuatan model KNN)

Diagram alir penelitian menunjukkan tahapan proses klasifikasi kesuburan tanah yang dimulai dari pengambilan data kondisi tanah menggunakan sensor IoT. Data yang diperoleh selanjutnya diproses melalui tahap preprocessing dan pelabelan, kemudian dinormalisasi sebelum digunakan pada pelatihan model K-*Nearest Neighbors* (KNN). Model yang telah dilatih selanjutnya digunakan untuk melakukan prediksi data baru dan dievaluasi untuk mengetahui kinerja klasifikasi sebelum proses penelitian dinyatakan selesai.

C. *Preprocessing*

Data yang diambil dari sensor adalah data mentah yang belum dapat dianalisis secara langsung, sehingga diperlukan tahap *preprocessing* yang mencakup proses pembersihan dan normalisasi data. Tujuan dari tahap ini adalah untuk menghilangkan data yang tidak dapat dibaca, menyamakan satuan pengukuran, dan menyiapkan data untuk digunakan secara optimal dalam proses klasifikasi menggunakan metode KNN.

D. Pengolahan Data

Data hasil pengukuran sensor merupakan data mentah sehingga dilakukan *preprocessing* yang meliputi pembersihan data tidak valid dan penyamaan skala nilai. Selanjutnya, data diberi label tingkat kesuburan tanah ke dalam tiga kategori, yaitu subur, cukup subur, dan kurang subur, berdasarkan rentang nilai pH tanah, kelembaban tanah, dan suhu tanah. Proses pelabelan dilakukan secara otomatis (*relabeling*) di dalam program tanpa mengubah *dataset* asli secara fisik.

TABEL 2
(Rentang Nilai Parameter)

Kategori	**pH Tanah**	**Kelembaban**	**Suhu**	**Bobot Per parameter**
Subur	6,0 - 7,0	55 - 80	17 – 26	2
Cukup subur	5,5 - <6,0	45 - <55 atau >80 - 85	14 – <17 atau >26 –	1
Kurang subur	<5,5 atau >7,5	< 45 atau > 85	< 14 atau > 30	0

E. Normalisasi Data

Normalisasi data dilakukan menggunakan metode Min–Max *Normalization* untuk menyamakan skala nilai setiap parameter tanah agar tidak terjadi dominasi fitur tertentu dalam proses perhitungan jarak pada algoritma KNN. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi dan kestabilan model klasifikasi.

F. Implementasi Model K-Nearest Neighbors (KNN)

Algoritma K-*Nearest Neighbors* (KNN) digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat kesuburan tanah berdasarkan kedekatan jarak antar data menggunakan Euclidean Distance. Parameter pH tanah, kelembaban tanah, dan suhu tanah digunakan sebagai fitur input. Nilai K = 5 dipilih karena memberikan performa klasifikasi yang paling stabil berdasarkan pengujian.

G. Evaluasi Model

Evaluasi model klasifikasi yang telah dibangun merupakan tahap akhir dalam alur penelitian. Evaluasi dilakukan menggunakan metode K-*Fold Cross Validation* dengan nilai K = 5. Untuk mengukur kinerja model KNN dalam mengklasifikasikan tingkat kesuburan tanah, digunakan beberapa metrik evaluasi, yaitu *accuracy*, *precision*, *recall*, dan F1-*score*. Perhitungan masing-masing metrik evaluasi tersebut dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut.

1. Accuracy

Accuracy adalah ukuran yang menunjukkan seberapa sering model membuat prediksi yang benar. Nilai *accuracy* diperoleh dengan membandingkan jumlah prediksi yang benar dengan seluruh data yang diuji. Berikut rumus untuk menghitung akurasi.

$$Accuracy = \frac{(TP + TN)}{TP + TN + FP + FN} \quad (3.1)$$

2. Precision

Precision menunjukkan ketepatan hasil prediksi model untuk suatu kelas. Artinya, *precision* mengukur berapa banyak data yang diprediksi sebagai suatu kelas benar-benar sesuai dengan kelas tersebut. Berikut rumus untuk menghitung *precision*.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3.2)$$

3. *Recall*

Recall menunjukkan kemampuan model dalam menemukan semua data yang seharusnya termasuk ke dalam suatu kelas. Nilai *recall* menggambarkan seberapa baik model mendeteksi data yang benar. Berikut rumus untuk menghitung *recall*.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3.3)$$

4. F1-Score

F1-*Score* adalah ukuran yang menggabungkan *precision* dan *recall*. Nilai ini digunakan untuk melihat keseimbangan antara ketepatan dan kemampuan model dalam mengenali data, terutama ketika jumlah data pada tiap kelas tidak seimbang. Berikut rumus untuk menghitung F1-*Score*.

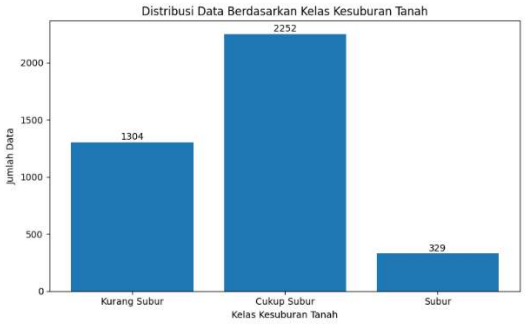
$$F1 = 2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (3.4)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

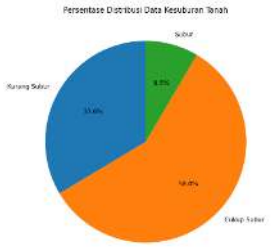
Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan tingkat kesuburan tanah pada tanaman cabai di wilayah Karangreja menggunakan metode K-Nearest Neighbors (KNN) berdasarkan parameter pH tanah, kelembaban tanah, dan suhu tanah yang diperoleh melalui sensor. Data yang digunakan berasal dari hasil pengukuran sensor lapangan yang selanjutnya diproses melalui tahap pembersihan, pelabelan, normalisasi, dan klasifikasi menggunakan algoritma KNN.

A. Hasil Pengambilan dan Pelabelan

Pada tahap awal, diperoleh sebanyak 4.208 data hasil pembacaan sensor. Setelah dilakukan pembersihan data untuk menghilangkan nilai yang tidak valid, jumlah data berkurang menjadi 3.885 data yang siap dianalisis. Data tersebut kemudian dikelompokkan ke dalam tiga kelas kesuburan tanah, yaitu Kurang Subur (1.304 data), Cukup Subur (2.252 data), dan Subur (329 data). Distribusi ini menunjukkan bahwa sebagian besar lahan cabai di wilayah Karangreja berada pada kategori cukup subur hingga kurang subur selama periode pengambilan data. Pelabelan data dilakukan secara otomatis berdasarkan rentang nilai parameter tanah yang telah ditetapkan. Proses ini bertujuan untuk memastikan konsistensi label dan meminimalkan subjektivitas dalam penentuan kelas kesuburan tanah.



GAMBAR 3
(Distribusi Data Berdasarkan Kelas Kesuburan Tanah)



GAMBAR 4
(Presentase Distribusi Data Kesuburan Tanah **(A)**)

B. Hasil Pengujian Model KNN

Evaluasi performa model klasifikasi dilakukan menggunakan metode Stratified K-Fold Cross Validation dengan variasi nilai K = 3 dan K = 5. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model K-*Nearest Neighbors* (KNN) dengan nilai K = 5 menghasilkan performa yang lebih baik dengan nilai akurasi rata-rata sebesar 0,9946, sedangkan model dengan K = 3 menghasilkan akurasi sebesar 0,9933. Selain akurasi, nilai *precision, recall*, dan F1-*score* pada K = 5 juga menunjukkan peningkatan dibandingkan dengan K = 3, yang mengindikasikan bahwa model dengan jumlah tetangga yang lebih besar mampu mengklasifikasikan data

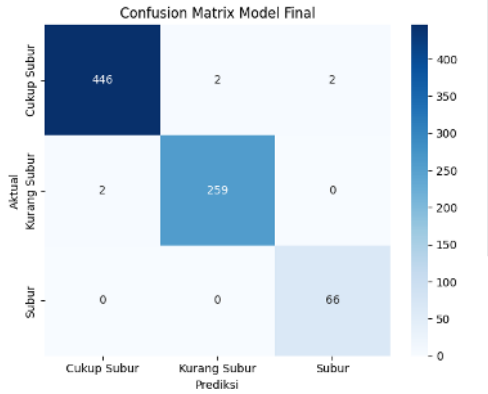
secara lebih stabil dan memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mengenali kelas minoritas. Pada pengujian model final dengan pembagian data 80% data latih dan 20% data uji, kedua nilai K menghasilkan tingkat akurasi yang sama. Namun demikian, hasil evaluasi *menggunakan Stratified K-Fold Cross Validation* menunjukkan bahwa K = 5 memiliki kestabilan performa yang lebih baik secara keseluruhan, sehingga nilai tersebut dipilih sebagai parameter optimal dalam proses klasifikasi tingkat kesuburan tanah.

TABEL 3
(Perbandingan Hasil Pengujian Model KNN dengan variasi K)

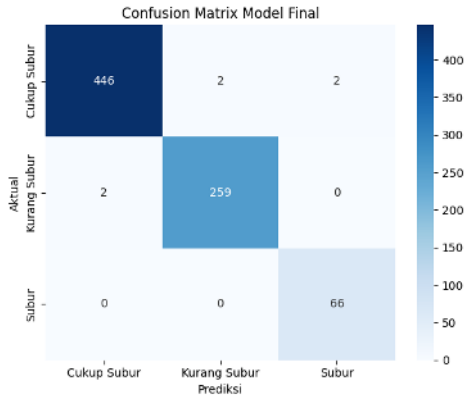
Nilai K	**Rata – rata Akurasi K-*Fold***	**Akurasi Data uji Final 80 % : 20 %**	**Keterangan**
3	0.9933	0,9923	Performa baik
5	0,9946	0,9923	Performa Terbaik

C. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi parameter pH tanah, kelembaban tanah, dan suhu tanah efektif digunakan sebagai fitur dalam klasifikasi kesuburan tanah menggunakan metode KNN. Di antara ketiga parameter tersebut, pH tanah memiliki pengaruh paling dominan terhadap keputusan klasifikasi karena variasinya yang signifikan antar kelas kesuburan. Kelembaban tanah berperan dalam membedakan kondisi tanah dengan pH yang serupa, sedangkan suhu tanah berfungsi sebagai parameter pendukung yang menggambarkan aktivitas biologis tanah. Meskipun distribusi data antar kelas tidak seimbang, penggunaan *Stratified K-Fold Cross Validation* mampu menjaga proporsi kelas pada data latih dan data uji, sehingga model tetap menunjukkan performa yang baik pada kelas minoritas.



GAMBAR 5
(Confusion Matrix Model Final K = 3)



GAMBAR 6
(Confusion Matrix Model Final K = 5)

TABEL 4
(Perbandingan Metrik Evaluasi KNN)

Nilai K	*Precision*	*Recall*	*F1-Score*	*Accuracy*
3	0,9918	0,9916	0,9917	0,9933
5	0,9920	0,9943	0,9931	0,9946

Analisis *confusion matrix* menunjukkan bahwa sebagian besar data berhasil diklasifikasikan dengan benar, dengan kesalahan klasifikasi yang relatif kecil dan umumnya terjadi pada data dengan nilai parameter yang berada di sekitar batas antar kelas. Secara keseluruhan, hasil penelitian membuktikan bahwa metode K-*Nearest Neighbors* (KNN) mampu mengklasifikasikan tingkat kesuburan tanah pada tanaman cabai dengan akurasi tinggi dan stabil, sehingga berpotensi diterapkan sebagai sistem pendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan lahan pertanian berbasis data sensor.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa metode K-*Nearest Neighbors* (KNN) efektif digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat kesuburan tanah pada tanaman cabai di wilayah Karangreja. Klasifikasi dilakukan berdasarkan parameter pH tanah, kelembaban tanah, dan suhu tanah yang diperoleh melalui sensor, yang mampu merepresentasikan kondisi tanah secara aktual dan andal sebagai data masukan. Evaluasi model menggunakan *Stratified K-Fold Cross Validation* dengan pembagian data 80% data latih dan 20% data uji menunjukkan bahwa model KNN menghasilkan performa yang tinggi dan konsisten. Hasil pengujian memperlihatkan tingkat akurasi yang mencapai 0,99 dengan kesalahan klasifikasi yang relatif rendah, sehingga metode KNN terbukti dapat digunakan secara efektif dalam menentukan tingkat kesuburan tanah pada tanaman cabai.

REFERENSI

[1] S. R. Hutami and P. Utami, “Analisis Kontribusi Sektor Pertanian Terhadap Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Kabupaten Banjarnegara,” vol. 2, no. 1, pp. 21–40, 2024.

[2] E. Purnamasari, A. Japlani, P. N. Semarang, U. M. Metro, and J. I. Keuangan, "Jurnal Ilmiah Keuangan dan Perbankan," vol. 6, no. 1, pp. 31–40, 2023.

[3] D. Wulan and S. Damanik, "Pengaruh Rotasi Tanaman terhadap Kesuburan Tanah dan Produktivitas Lahan," pp. 1–9.

[4] M. H. Nafi, "MENINGKATKAN KESADARAN PETANI DALAM MONITORING MOBILE," pp. 100–107, 2025.

[5] V. Sianipar, D. Irmayani, and B. Bangun, "Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Tingkat Kelulusan Siswa Menggunakan Algoritma KNN," vol. 7, no. 1, 2025, doi: 10.47065/bits.v7i1.7386.

[6] M. Algoritma, "Jurnal JTIK (Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi) Klasifikasi Kualitas Tanah Berdasarkan Kandungan pH ," vol. 9, no. December, pp. 1437–1444, 2025.

[7] E. Science, "Classification of soil quality using K-Nearest Neighbors methods Classification of soil quality using K-Nearest Neighbors methods," 2021, doi: 10.1088/1755-1315/739/1/012011.

[8] N. A. Hanif, M. H. H. Ichsan, and A. S. Budi, "Rancangan Sistem Klasifikasi Kesuburan Tanah pada Tanaman Pangan berdasarkan pH dan Kelembapan berbasis Arduino Nano menggunakan Metode K-NN dan …," *J. Pengemb. Teknol. …*, vol. 6, no. 8, pp. 3629–3636, 2022, [Online]. Available: https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/11403%0Ahttps://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/download/11403/5048

[9] I. R. Wulan, B. Dwi, A. Nugroho, C. Setyawan, A. Ardhitama, and C. Tanjung, "Environmental Factors and Mulching Effects on Soil Nitrogen in Organic Curly Chili (Capsicum annuum L .) Cultivation for Sustainable Agriculture," vol. 14, no. 5, pp. 1829–1842, 2025.

[10] M. H. Soekamto, Z. Ohorella, and S. F. Kondologit, "Evaluasi Status Kesuburan Tanah Pada Lahan Budidaya Tanaman Cabai (Capsicum Annum L .) Di Kelurahan Aimas Kabupaten Sorong Evaluation of Soil Fertility Status in Chili (Capsicum Annum L .) Cultivation Land in Aimas Village , Sorong Regency meningkatkan produktivitas lahan yang diharapkan dapat memberikan gambaran tentang karakteristik kimia tanah dan dapat diambil langkah yang," vol. 12, no. 2, pp. 141–148, 2023.

[11] A. N. Camila, H. Siswoyo, and A. P. Hendrawan, "Penentuan Tingkat Kesuburan Tanah Pada Lahan Pertanian di Kelurahan Bandulan Kecamatan Sukun Kota Malang Berdasarkan Parameter Kimia," *J. Sains dan Edukasi Sains*, vol. 6, no. 1, pp. 28–33, 2023, doi: 10.24246/juses.v6i1p28-33.

[12] A. A. Wahditiya *et al.*, *Teknologi Produksi Tanaman Pangan*, no. November. 2024. [Online]. Available: https://repository.unitas-pdg.ac.id/id/eprint/403/3/TPTP khusus jamilah.pdf

[13] T. Akhir *et al.*, "PEMANFAATAN LIMBAH PADAT TERNAK DENGAN PENAMBAHAN KROKOT (Portulaca oleracea L .) SEBAGAI PUPUK ORGANIK PADA TANAMAN CABAI RAWIT (Capsicum frutescens L .) DI DESA BOCEK KECAMATAN KARANGPLOSO PEMANFAATAN LIMBAH PADAT TERNAK DENGAN PENAMBAHAN KROKOT (Portulaca oleracea L .) SEBAGAI PUPUK ORGANIK PADA TANAMAN CABAI RAWIT (Capsicum frutescens L .) DI DESA BOCEK KECAMATAN KARANGPLOSO," 2025.

[14] F. Apriansyah, F. Antony, and H. Sunardi, "Pemanfaatan Solar Panel Sebagai Studi Efisiensi Penyiraman Tanaman Cabai Berbasis IoT," no. 629, pp. 74–84.

[15] S. I. Selvia, L. Arifin, A. Bakti, and B. H. Kusumo, "Pemberdayaan Masyarakat Melalui Bimbingan Teknis (BIMTEK) Pemupukan Organik untuk Peningkatan Produksi Cabai Merah di Sembalun Lombok Timur," vol. 5, no. 2, pp. 139–146, 2024.

[16] I. Akase, "Fertilization Recommendations Based on Nutrition Status of N and K on Rainfed Rice field in Mantoh District," *Celeb. Agric.*, vol. 2, no. 2, pp. 83–87, 2022, doi: 10.52045/jca.v2i2.281.

[17] O. L. Agapie and E. Barcanu, “A brief description of cultivated chili peppers,” vol. LXVIII, no. 1, 2024.

[18] B. C. Capsicum, N. Hasanah, and S. Fatmawati, “Metabolit Sekunder , Metode Ekstraksi , Dan,” vol. 7, no. 1, pp. 14–61, 2022.

[19] K. Air, K. Air, A. Febriansyah, A. Zahri, and D. Amanda, “Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur Monitoring Kadar Air Berdasarkan Kadar pH , Tingkat,” vol. 16, no. 01, 2024.

[20] D. Yanti, I. Darmiyati, S. Saputra, A. Mutaqim, M. Rezha, and F. B. Purnomo, “Analisis Kualitas Tanah Perkebunan Menggunakan Sensor Multi-Parameter Berbasis IoT dan Python,” vol. 10, no. 1, pp. 706–713, 2025.

[21] O. J. Sukweenadhi, “Bab 3 hubungan tanah dan tanaman,” 2022.

[22] A. P. Afflin, “RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN DAN MONITORING FLOW BERBASIS IoT,” vol. 7, no. 2, pp. 7–10, 2023.

[23] L. Thomson, “growth,” vol. 6, no. 2, pp. 18–19, 2022.

[24] S. Suhu and I. Cahaya, “Jurnal Riset Fisika Indonesia,” vol. 5, pp. 97–106, 2025.

[25] M. N. Esp and B. Thingspeak, “Prototype of Soil Moisture Monitoring System for Chili Plants Based on Internet of Things Using Fuzzy Logic Method with NodeMCU ESP8266 , Blynk , and ThingSpeak Prototipe Sistem Monitoring Kelembapan Tanah pada Tanaman Cabai Berbasis Internet of Things de,” vol. 5, no. January, pp. 130–140, 2025.

[26] J. Teknologi, A. K. Permana, and A. Rachmawan, “Studi Komparasi Platform Open-Source Internet of Things,” vol. 1, pp. 43–48, 2023, doi: 10.52330/jtm.v21i1.38.

[27] F. A. A. Putra, A. G. Sulaksono, L. T. Utomo, and A. R. Khamdani, “Klasifikasi Buah dan Sayur menggunakan fitur ekstraksi HOG dan Metode,” pp. 45–52, 2017.

[28] A. Ridho and C. R. Niani, “Implementasi Enkripsi Dengan Vigenere Cipher Dan Reverse Cipher Menggunakan Bahasa Pemrograman Python,” pp. 9–15, 2022.

[29] A. Ritonga, “Studi Literatur Perbandingan Bahasa Pemrograman C ++ Dan Bahasa Pemrograman Python Pada Algoritma Pemrograman,” vol. 3, no. 3, 2023.

[30] N. A. Murani, S. Wahyuni, R. A. Pratiwi, and T. Firdaus, “Analisis Penggunaan Visual Studio Code Sebagai Editor Pemrograman Terbaik Untuk Pemula Pada Mahasiswa Informatika Universitas Nurul Huda,” vol. 2, no. 2, pp. 1–10, 2025.

[31] A. Adi *et al.*, “Pemrograman Mesin Smart Bartender Menggunakan Software Arduino IDE Berbasis Microcontroller ATmega2560,” vol. 6, pp. 14–21, 2021.