

PEMANTAUAN DAN PENGONTROLAN SISTEM PEMUPUKAN BUDIDAYA TANAMAN TOMAT MENGGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK *MONITORING AND CONTROLLING FERTILIZATION SYSTEM FOR TOMATO CULTIVATION USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK*

Sharon Patricia Siahaan¹, Dr. Eng. Willy Anugrah Cahyadi, S.T., M.T.², Ir. Porman Pangaribuan, M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹eonpatt@student.telkomuniversity.ac.id, ²waczze@telkomuniversity.ac.id ³porman@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Pemupukan merupakan salah satu hal yang dapat membantu peningkatan produksi dan mutu untuk tanaman. Akan tetapi, pemupukan di Indonesia bisa dikatakan belum efektif. Akibatnya, banyak masalah yang dapat ditimbulkan. Beberapa pengaruh negatif dari pemupukan yang tidak efektif adalah tanah menjadi rusak, menurunnya kualitas tanaman, maupun pencemaran lingkungan. Untuk menyelesaikan masalah tersebut dibutuhkan sistem yang dapat menerapkan pemupukan yang efektif.

Pada penelitian tugas akhir ini dirancang sebuah sistem untuk memantau dan mengontrol pemupukan yang akan diterapkan pada tanaman tomat. Daun pada tanaman dijadikan sebagai parameter kebutuhan pupuk tanaman. Gambar daun akan diambil menggunakan kamera dan akan diolah dengan pengolahan citra. Dengan melihat warna daun dapat dideteksi kekurangan unsur hara pada tanaman. Penerapan pupuk yang dibutuhkan oleh tanaman dapat menghemat konsumsi pupuk tanpa mengurangi kualitas produksi.

Dari hasil percobaan dan implementasi alat yang dibuat, tugas akhir ini mampu mengklasifikasi dan memberikan pupuk pada tanaman. Persentase akurasi deteksi warna daun untuk mengetahui kebutuhan pupuk tanaman adalah sebesar 87%.

Kata Kunci : *sistem kontrol, pemupukan budidaya tomat, pengolahan citra*

ABSTRACT

Fertilization is one thing that can help to increase production and quality for plants. However, fertilization in Indonesia can be said to be ineffective. As a result, many problems can be caused. Some of the negative effects of ineffective fertilization are soil damage, decreased quality of plants, and environmental pollution. To solve these problems, a system that can apply effective fertilization is needed.

In this final project research, a system is designed to monitor and control fertilization which will be applied to tomato plants. Leaves on plants are used as parameters of soil fertility. Leaf images will be taken using a camera and will be processed by image processing. By looking at the color of the leaves, nutrient deficiencies in plants can be detected. The application of fertilizers needed by plants can save fertilizer consumption without reducing production quality.

From the results of the experiment and the implementation of the tools made, this final project is able to classify and provide fertilizer to plants. The percentage of accuracy of leaf color detection to determine the need for plant fertilizer is 87%.

Keywords: *control system, tomato cultivation fertilization, image processing*

1. Pendahuluan

Indonesia dikenal sebagai negara agraris karena sebagian besar penduduk Indonesia bermatapencaharian di bidang pertanian atau bercocok tanam. Salah satunya adalah tanaman tomat. Tanaman tomat merupakan salah satu komoditas hortikultura yang sangat potensial untuk dikembangkan karena mempunyai nilai ekonomis cukup tinggi. Buahnya merupakan sumber vitamin dan mineral. Penggunaannya semakin luas, karena selain dikonsumsi sebagai tomat segar dan untuk bumbu masakan, juga dapat diolah lebih lanjut sebagai bahan baku industri makanan seperti sari buah dan saus tomat [1]. Pada tahun 2017, produksi tanaman tomat di Indonesia mencapai 962.856 ton [2]

Buah tomat masih memerlukan penanganan serius, terutama dalam hal peningkatan hasil dan kualitas buahnya. Apabila dilihat dari jumlah produksinya, ternyata tomat di Indonesia masih rendah jika dibandingkan dengan negara-negara India, Spanyol, dan Meksiko yang berturut-turut 20.708.000 ton, 5.163.466 ton, 4.243.058 ton [2]. Rendahnya produksi tomat di Indonesia kemungkinan disebabkan varietas yang ditanam tidak cocok, kultur teknik yang kurang baik, pemberantasan hama/penyakit yang kurang efisien maupun penggunaan pupuk yang tidak efektif. Di Desa Cikidang Lembang, petani tomat mengalami gagal panen dalam jumlah yang besar [3].

Untuk pertumbuhannya yang baik, tanaman tomat membutuhkan tanah dengan kadar keasaman (pH) antara 5-6, tanah sedikit mengandung pasir dan banyak mengandung humus serta pengairan yang teratur dan cukup [4]. Salah satu sarana produksi yang vital peranannya dalam mendukung upaya peningkatan produksi tomat adalah pupuk. Nutrisi utama yang dibutuhkan oleh tanaman adalah nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Nitrogen, fosfor, dan kalium berfungsi sebagai proses metabolisme dan biokimia sel tanaman [5].

Kekurangan pupuk dapat menyebabkan tanaman kekurangan keperluan zat hara. Hal ini dikarenakan rekomendasi pemupukan masih bersifat umum diterapkan untuk setiap lahan. Efisiensi pemupukan sangatlah penting guna meningkatkan kualitas produksi [6], penghematan sumber daya energi, dan kelestarian lingkungan. Salah satu solusi untuk efisiensi penggunaan pupuk ialah dengan menggunakan sistem pemupukan dengan menggunakan pengolahan citra. Warna daun tomat dapat digunakan sebagai parameter kebutuhan pupuk tanaman. Dengan melihat warna daun dapat dideteksi pupuk yang diperlukan oleh tanaman tomat. Penerapan pupuk yang tepat dapat menghemat konsumsi pupuk tanpa mengurangi kualitas produksi.

2. Dasar Teori

2.1 Tanaman Tomat

Tomat (*Lycopersicon esculentum*) adalah salah satu komoditas hortikultura yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia. Tomat mengandung sumber nutrisi yang bergua bagi kesehatan manusia seperti senyawa folat, likopen, karotenoid, vitamin A, C, dan E, serta serat dan mineral.

Tanaman tomat memiliki akar tunggang yang tumbuh secara horizontal. Perakaran tanaman tidak terlalu dalam yaitu 30-40 cm. Akar tanaman tomat berfungsi untuk menopang berdirinya tanaman dan menyerap air dan unsur hara dari dalam tanah. Batang pada tomat berbentuk silinder dengan diameter bisa mencapai 4 cm. Warna batangnya hijau dan berbentuk persegi empat sampai bulat. Batangnya ditutupi bulu-bulu halus. Tanaman tomat berdaun majemuk dan berbentuk menyirip. Daunnya berbentuk oval, bergerigi, dan mempunyai celah menyirip. Bunga pada tanaman tomat termasuk jenis bunga berkelamin dua yaitu hermaphrodit. Kelopak bunga berwarna hijau sedangkan mahkotanya berwarna kuning. Karena memiliki dua kelamin, bunga tomat dapat melakukan penyerbukan sendiri. Buah tomat yang berwarna hijau seiring dengan proses pematangan berubah warna menjadi merah. Ukuran buahnya bervariasi tergantung dari varietasnya [7].

Tanaman tomat dapat tumbuh dengan baik di dataran rendah maupun dataran tinggi tergantung dengan varietasnya. Suhu yang baik untuk pertumbuhan tanaman tomat adalah 23°C pada siang hari dan 17°C pada malam hari. Jenis tanah yang sesuai untuk tanaman tomat adalah tanah yang bertekstur liat dan mengandung pasir. Paling sesuai jika tanah banyak mengandung humus dan gembur. Untuk pertumbuhannya yang baik, tanaman tomat membutuhkan tanah dengan kadar keasaman (pH) antara 5-6 dan juga pemupukan yang tepat.

2.2 Unsur Hara Tanah untuk Tanaman Tomat

Tanaman tomat membutuhkan unsur hara dengan komposisi yang tepat. Secara umum, jenis unsur hara dapat dibedakan menjadi unsur hara makro dan unsur hara mikro. Unsur hara makro terdiri dari unsur hara nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan belerang (S). Unsur hara mikro antara lain boron (Bo), klor (Cl), kopper (Co), besi (Fe), molybdenum (Mo), dan seng (Zn). Unsur hara yang dibutuhkan tanaman tomat dalam jumlah yang relatif banyak adalah nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) [8].

Nitrogen berperan dalam memproduksi protein, pertumbuhan daun, dan mendukung proses metabolisme seperti fotosintesis. Fosfor berperan dalam memacu pertumbuhan akar dan pembentukan sistem perakaran yang baik pada tanaman muda, sebagai bahan penyusun inti sel (asam nukleat), lemak dan karbohidrat. Sementara itu, kalium berperan dalam membantu proses pembentukan protein dan karbohidrat, meningkatkan resistensi tanaman terhadap hama dan penyakit dan memperbaiki kualitas tanaman.

2.3 Sistem Pemupukan

Pupuk merupakan bahan yang mengandung nutrisi bagi tanaman guna mencukupi kebutuhan hara yang tidak dapat disediakan oleh tanah dan bertujuan untuk meningkatkan produksi tanaman. Pemupukan dengan filosofi Nutrient Sufficiency Level merupakan pemupukan yang dianggap paling berhasil untuk memprediksi rekomendasi pupuk [9]. Pemberian dosis pupuk yang tepat dengan kondisi unsur hara tanah akan memberikan hasil produksi tomat yang maksimum serta dapat mengurangi terjadinya pencemaran lingkungan [10].

Ada dua jenis pupuk yaitu pupuk organik dan pupuk anorganik. Pupuk anorganik adalah pupuk hasil proses rekayasa secara kimia, fisik dan atau biologis dan merupakan hasil industri atau pabrik pembuat pupuk. Sedangkan pupuk organik adalah pupuk yang sebagian besar atau seluruhnya terdiri dari bahan organik yang berasal dari tanaman dan atau hewan yang telah melalui proses rekayasa, dapat dibentuk padat atau cair yang digunakan untuk mensuplai bahan organik, memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah [11]. Dosis pupuk tomat adalah 120 kg N/hektar, 115 kg P₂O₅/hektar, dan 120 kg K₂O/hektar. Untuk pupuk anorganik dapat menggunakan pupuk tunggal pupuk Urea 260 kg/hektar, SP-36 320 kg/hektar dan KCl 200 kg/hektar [12].

Ada beberapa keuntungan dari pupuk anorganik, yaitu (1) Pemberiannya dapat terukur dengan tepat, (2) Kebutuhan tanaman

akan hara dapat dipenuhi dengan perbandingan yang tepat, (3) Pupuk anorganik tersedia dalam jumlah cukup, dan (4) Pupuk anorganik mudah diangkut karena jumlahnya relatif sedikit dibandingkan dengan pupuk organik. Pupuk anorganik mempunyai kelemahan, yaitu selain hanya mempunyai unsur makro, pupuk anorganik ini sangat sedikit ataupun hampir tidak mengandung unsur hara mikro [13].

Kekurangan pupuk dapat mempengaruhi warna dari daun. Dengan melihat daun dapat diketahui kebutuhan pupuk tanaman. Jika kekurangan unsur N, maka daun akan berwarna pucat kekuningan karena kekurangan klorofil. Dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Daun Tomat yang Kekurangan Unsur N [14]

Jika kekurangan unsur P, warna daun akan berubah menjadi keunguan cenderung kelabu dan tepi daunnya menjadi coklat. Dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Daun Tomat yang Kekurangan Unsur P [14]

Jika kekurangan unsur K, daun akan mengerut alias keriting dan terlihat bercak seperti terbakar. Dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Daun Tomat yang Kekurangan Unsur K [14]

Cara yang dapat diterapkan untuk sistem pemupukan ini adalah dengan menggunakan pengolahan citra untuk mengetahui kebutuhan pupuk tanaman.

2.4 MATLAB

MATLAB merupakan sebuah program yang digunakan untuk menganalisis dan mengkomputasi data numerik. MATLAB merupakan bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh The Mathwork Inc.

MATLAB memiliki beberapa toolbox yang dapat digunakan untuk merangkai sistem dinamis. Pada tugas akhir ini toolbox yang digunakan adalah GUI (Graphical User Interface) Layout Toolbox, Image Acquisition, Image Processing, dan Deep Learning Toolbox. GUI Layout Toolbox berfungsi sebagai antarmuka pada sistem operasi MATLAB yang menggunakan

menu grafis agar mempermudah pengguna untuk berinteraksi dengan sistem operasi. Image Acquisition menyediakan fungsi dan blok untuk menghubungkan kamera ke MATLAB. Image Processing menyediakan seperangkat lengkap algoritma dan workflow apps untuk pemrosesan gambar, analisis, visualisasi, dan pengembangan algoritma. Deep Learning Toolbox menyediakan kerangka kerja untuk merancang dan menerapkan neural network dengan algoritma, model yang telah dilatih, dan aplikasi.

2.5 Pengolahan Citra

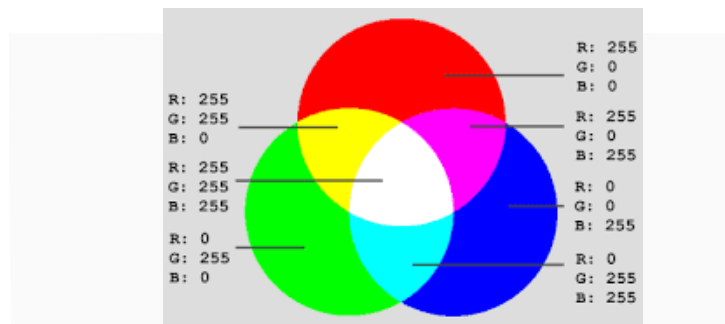
Citra digital merupakan suatu larik dua dimensi atau suatu matriks yang elemen-elemennya menyatakan tingkat keabuan dari elemen gambar [15]. Pengolahan citra menunjuk pada pemrosesan gambar 2 dimensi menggunakan komputer. Citra digital merupakan sebuah larik (array) yang berisi nilai-nilai real maupun kompleks yang dipresentasikan dengan deretan bit tertentu [16]. Sebuah citra digital diwakili oleh matriks yang terdiri dari M baris dan N kolom yang perpotongan antara baris dan kolom disebut piksel.

Bentuk matriks citra digital dapat dilihat sebagai berikut

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.6 RGB (Red Green Blue)

Ruang warna merupakan sebuah cara atau metode untuk mengatur, membuat, dan memvisualisasikan warna [17]. Ruang warna biasa digunakan untuk menganalisis citra. Citra RGB memiliki piksel yang terbentuk dari kombinasi tiga komponen warna primer yaitu merah, hijau, dan biru. Setiap komponen dari tiga warna tersebut memiliki rentang nilai dari 0 hingga 255. Citra RGB dapat dilihat pada Gambar 2.4.



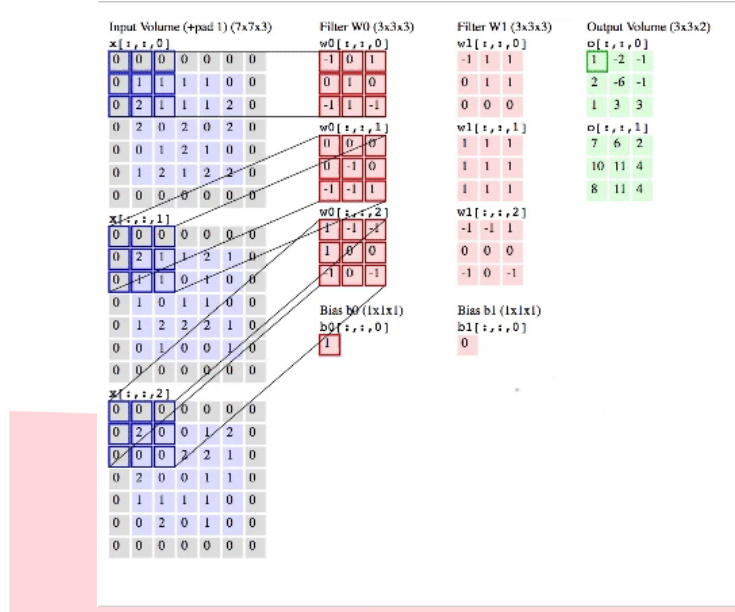
Gambar 2.4 Citra RGB [18]

2.7 CNN (Convolutional Neural Network)

Convolutional Neural Network adalah salah satu metode *machine learning* dari pengembangan *Multi Layer Perceptron* (MLP) yang didesain untuk mengolah data dua dimensi. Karena kedalaman jaringan yang tinggi, CNN banyak diaplikasikan pada data citra [19].

2.7.1 Konsep CNN

Dalam CNN setiap neuron dipresentasikan dalam bentuk dua dimensi. Data yang dipropagasikan oleh jaringan adalah data dua dimensi, sehingga operasi linear dan parameter bobot pada CNN berbeda [20]. Pada CNN operasi linear menggunakan operasi konvolusi. Operasi konvolusi merupakan operasi pada dua fungsi argumen bernilai nyata. Operasi ini menerapkan fungsi output sebagai feature map dari input citra. Convolutional Layer terdiri dari neuron yang tersusun sedemikian rupa sehingga membentuk sebuah filter dengan panjang dan tinggi (piksel).

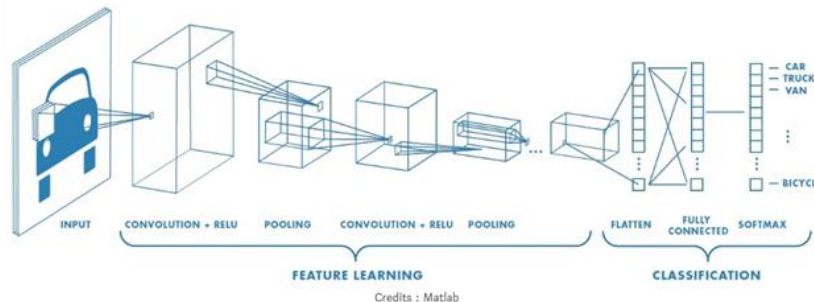


Gambar 2.5 Proses Konvolusi pada CNN [19]

Gambar 2.5 merupakan contoh proses konvolusi yang ada pada CNN. Layer dengan ukuran 7x7x3. Panjang 7 piksel, tinggi 7 piksel, dan tebal 3 buah sesuai dengan jumlah channel dari citra tersebut. Ketiga filter akan digeser ke seluruh bagian dari gambar. Setiap pergeseran akan dilakukan operasi “dot” antara input dan nilai dari filter tersebut sehingga menghasilkan sebuah output atau biasa disebut sebagai activation map atau feature map.

2.7.2 Arsitektur CNN

CNN terdiri dari berbagai layer dan beberapa neuron pada masing-masing layer. Kedua hal tersebut tidak dapat ditentukan menggunakan aturan yang pasti dan berlaku berbedda-beda pada data yang berbeda [21]. CNN merupakan sebuah arsitektur yang dapat dilatih dan terdiri dari beberapa tahap. Arsitektur dari CNN dibagi menjadi 2 bagian besar yaitu Feature Learning dan Classification (MLP). Berikut merupakan jaringan arsitektur Convolutional Neural Network :



Gambar 2.6 Arsitektur CNN

Layer CNN yang digunakan pada tugas akhir ini adalah :

1. Feature Learning

Lapisan-lapisan yang terdapat dalam Feature Learning berguna untuk mentranslasikan suatu input menjadi fitur-fitur berdasarkan ciri dari input tersebut yang berbentuk angka-angka dalam vektor.

a. Convolutional Layer

Convolutional Layer akan menghitung output dari neuron yang terhubung ke daerah lokal dalam input, masing-masing menghitung produk titik antara bobot mereka dan wilayah kecil yang terhubung ke dalam volume input.

b. Rectified Linear Unit (ReLU)

ReLU akan menghilangkan vanishing gradient dengan cara menerapkan fungsi aktivasi element sebagai $f(x) = \max(0,x)$ alias aktivasi elemen akan dilakukan saat berada di ambang batas 0.

c. Pooling Layer

Pooling Layer adalah lapisan yang mengurangi dimensi dari feature map atau lebih dikenal dengan langkah untuk downsampling, sehingga mempercepat komputasi karena parameter yang harus diupdate semakin sedikit dan mengatasi overfitting. Pooling yang biasa digunakan adalah Max Pooling dan Average Pooling. Max Pooling untuk menentukan nilai maksimum tiap pergeseran filter, sementara Average Pooling akan menentukan nilai rata-ratanya.

2. Classification

Classification Layer berguna untuk mengklasifikasikan tiap neuron yang telah diekstraksi fitur pada sebelumnya.

a. *Flatten*

Membentuk ulang fitur menjadi sebuah vektor agar bisa digunakan sebagai *input* dari *fully-connected layer*

b. *Fully-connected*

Lapisan ini akan menghitung skor kelas. Setiap neuron dalam lapisan ini akan terhubung ke semua angka dalam volume.

c. *Softmax*

Fungsi *softmax* menghitung probabilitas dari setiap kelas target atas semua kelas target yang memungkinkan dan akan membantu untuk menentukan kelas target untuk *input* yang diberikan.

2.7.3 Epoch

Epoch adalah ketika seluruh dataset sudah melalui proses *training* pada *Neural Network* sampai dikembalikan ke awal untuk sekali putaran [22]. Seiring bertambahnya jumlah *epoch*, semakin banyak pula bobot yang berubah dalam *Neural Network*. Jumlah *epoch* dapat mempengaruhi tingkat keakurasian suatu sistem. Jika jumlah *epoch* terlalu sedikit, model yang dilatih akan mengalami *underfitting* dan jika jumlah *epoch* terlalu banyak, model yang dilatih akan mengalami *overfitting*. *Underfitting* terjadi ketika model tidak bisa melihat logika di belakang data, hingga tidak bisa melakukan prediksi dengan tepat, baik untuk *dataset training* maupun *dataset* lain yang serupa. *Underfitting* model akan memiliki *high loss* dan akurasi rendah. *Overfitting* terjadi karena model yang dibuat terlalu fokus pada *training dataset* tertentu dan terlalu sensitif terhadap pola dalam *dataset* tersebut, hingga tidak bisa melakukan prediksi dengan tepat jika diberikan *dataset* lain yang serupa. *Overfitting* biasanya akan menangkap data *noise* yang seharusnya diabaikan. *Overfitting* model akan memiliki *low loss* dan akurasi rendah.

2.8 Confusion Matrix

Confusion matrix merupakan alat pengukuran yang dapat digunakan untuk menghitung kinerja atau tingkat kebenaran proses klasifikasi. *Confusion matrix* memberikan informasi perbandingan hasil klasifikasi yang dilakukan oleh sistem (model) dengan hasil klasifikasi sebenarnya [22]. *Confusion matrix* berbentuk tabel matriks yang menggambarkan kinerja model klasifikasi pada serangkaian data uji yang nilai sebenarnya diketahui. Gambar merupakan *confusion matrix* dengan 4 kombinasi nilai prediksi dan nilai aktual yang berbeda.

		Actual Values	
		Positive (1)	Negative (0)
Predicted Values	Positive (1)	TP	FP
	Negative (0)	FN	TN

Gambar 2.7 Confusion Matrix [23]

Keterangan :

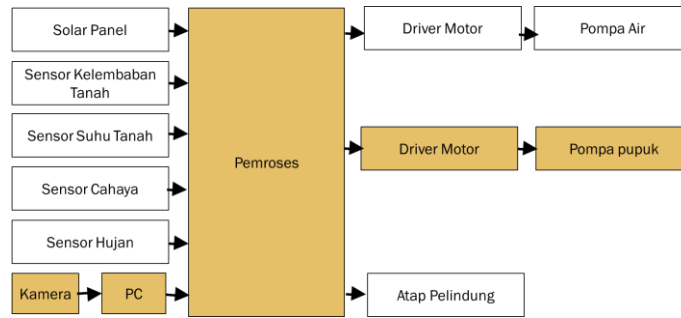
- TP adalah *True Positive*, yaitu data positif yang diprediksi benar.
- TN adalah *True Negative*, yaitu data negatif yang diprediksi benar.
- FP adalah *False Positive*, yaitu data negatif namun diprediksi sebagai data positif.
- FN adalah *False Negative*, yaitu data positif namun diprediksi sebagai data negatif.

3. Perancangan Sistem

3.1 Desain Sistem

1. Sistem Keseluruhan

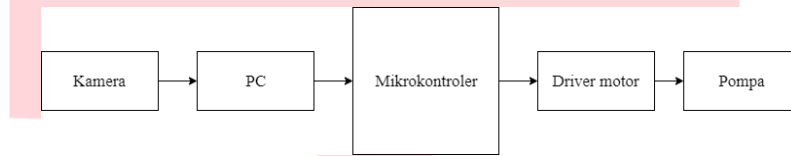
Pada tugas akhir ini, konfigurasi sistem secara keseluruhan menggunakan beberapa sistem yang akan dikonfigurasi sehingga dapat bekerja sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Gambar 3.1 merupakan hubungan antar sistem.



Gambar 3.1 Konfigurasi Sistem Keseluruhan

2. Sistem Individu

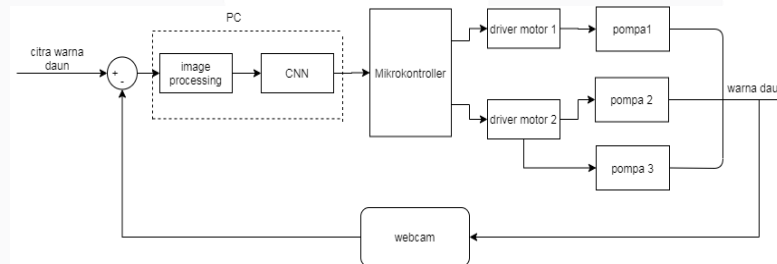
Pada tugas akhir ini difokuskan dalam pembuatan sistem pemupukan untuk memberikan pupuk sesuai dengan kebutuhan tanaman tomat. Gambar 3.2 merupakan konfigurasi sistem pemupukan.



Gambar 3.2 Konfigurasi Sistem Pemupukan

Pada konfigurasi sistem ini, kamera dan PC menjadi input dari mikrokontroler. Kamera digunakan untuk mengambil citra daun tomat dan PC digunakan untuk mengolah citra daun tomat. Output dari mikrokontroler adalah driver motor dan pompa yang digunakan untuk mengaplikasikan pupuk ke tanaman tomat.

3.1.1 Diagram Blok



Gambar 3.3 Diagram Blok Perancangan Alat

Diagram blok perancangan alat dapat dilihat pada Gambar 3.3 .Gambar 3.3 merupakan alur kerja sistem yang memiliki masukan berupa citra warna daun dan kemudian diolah citranya. Data yang telah didapat dari pengolahan citra dikirim ke mikrokontroler untuk menghidupkan pompa.

3.1.2 Fungsi dan Fitur

Pada tugas akhir ini fungsi dan fitur dari tiap blok diagram pada Gambar 3.3 adalah sebagai berikut

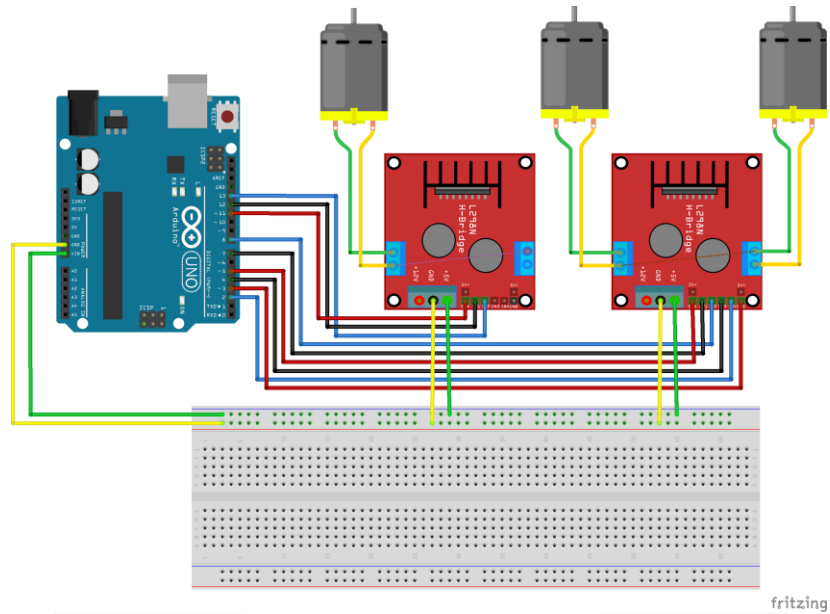
1. Laptop
Laptop berfungsi sebagai pengolah citra warna daun. Lalu citra daun yang sudah diolah akan dikirimkan ke mikrokontroler.
2. Mikrokontroler
Mikrokontroler berfungsi sebagai kontroler pada sistem ini. Mikrokontroler akan memproses inputan kemudian mengeluarkan output yang akan diteruskan ke aktuator.
3. Driver motor
Driver motor berfungsi sebagai aktuator yang menerima perintah dari mikrokontroler untuk menghidupkan atau mematikan pompa
4. Pompa
Pompa berfungsi sebagai aktuator yang memindahkan pupuk cair dari suatu penampung yang nantinya akan diaplikasikan ke tanaman tomat
5. Kamera

Kamera berfungsi sebagai sensor visual. Kamera akan mengambil gambar daun lalu akan diproses dengan pengolahan citra

dan hasil pengolahan citranya menjadi inputan mikrokontroler.

3.2 Desain Perangkat Keras

Skematik rangkaian pada alat penyiraman budidaya tanaman tomat ditunjukkan pada gambar 3.4 dan penjelasan hubungan antar komponen pada tabel di bawah

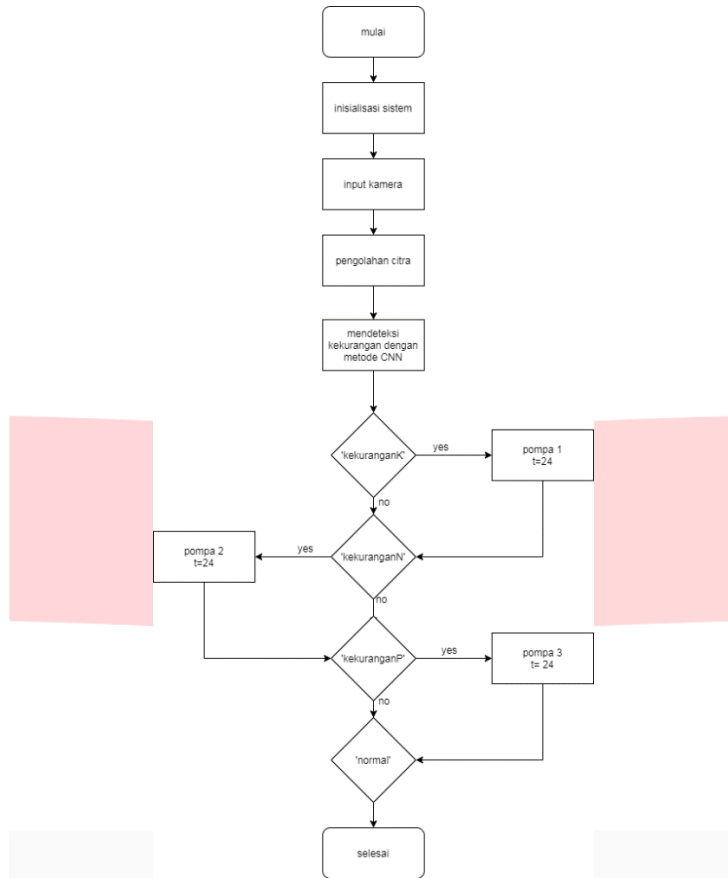


Gambar 3.4 Skematik rangkaian

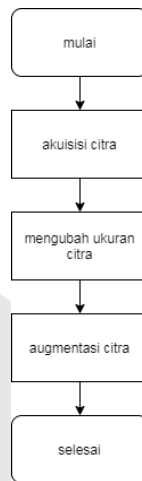
Motor Driver 1	Arduino UNO R3
In1	7
In2	8
ENA	5
In3	4
In4	2
ENB	3
Motor Driver 2	Arduino UNO R3
In1	12
In2	13
ENA	11

3.3 Desain Perangkat Lunak

Gambar 3.5 merupakan diagram alir pemupukan tanaman. Kamera sebagai sensor visual akan mengambil citra warna daun lalu diolah citranya. Citra yang sudah diolah akan dideteksi kebutuhan pupuknya dengan menggunakan metoda *convolutional neural network*. Apabila kebutuhan pupuk belum terpenuhi, sistem akan mendeteksi pupuk apa yang dibutuhkan. Lalu pompa akan menyiramkan pupuk yang dibutuhkan selama 24 detik. Setelah itu pompa akan dimatikan.

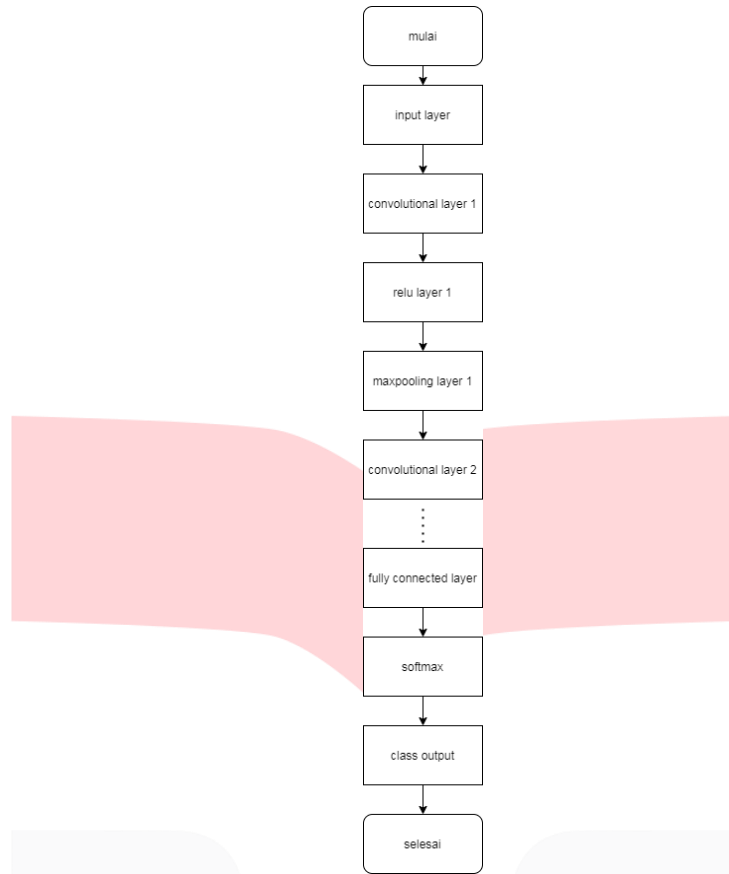


Gambar 3.5 Diagram Alir Pemupukan Tanaman Tomat



Gambar 3.6 Diagram Alir Pengolahan Citra

Gambar 3.6 merupakan diagram alir pengolahan citra pada tugas akhir ini. Setelah sistem dimulai, citra diakuisisi. Akuisisi citra merupakan proses menangkap atau memindai suatu citra analog sehingga diperoleh citra digital. Setelah itu citra akan diubah ukurannya. Mengubah ukuran citra berguna untuk menurunkan resolusi agar citra dapat lebih cepat diproses. Lalu, citra akan diaugmentasi. Augmentasi citra merupakan proses mengubah atau memodifikasi gambar agar mendapatkan data-data tambahan untuk data latih yang berguna untuk membuat model yang dapat melakukan generalisasi dengan lebih baik.



Gambar 3.7 Diagram Alir Klasifikasi dengan Metode CNN

Gambar 3.7 merupakan gambar diagram alir klasifikasi dengan metode CNN. *Input layer* menampung nilai piksel dari citra yang sudah diolah. Setelah itu, citra akan masuk ke proses *convolution* yang ada pada *convolutional layer*. *Convolutional layer* menghasilkan citra baru yang menunjukkan fitur dari citra input. Proses *convolution* dengan menggunakan filter pada *layer* ini akan menghasilkan *feature map* yang akan digunakan pada *activation layer*. *Activation layer* merupakan layer dimana *feature map* dimasukkan ke dalam fungsi aktivasi. Fungsi aktivasi digunakan untuk mengubah nilai-nilai pada *feature map* pada *range* tertentu yang bertujuan untuk meneruskan nilai yang menampilkan fitur dominan dari citra yang masuk ke layer berikutnya. Fungsi aktivasi yang digunakan pada tugas akhir ini adalah ReLU. *Pooling layer* menerima *input* dari *activation layer* kemudian mengurangi jumlah parameternya. Proses *pooling* yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *Max Pooling*. Setelah melewati proses-proses tersebut, hasil dari *pooling layer* digunakan menjadi masukan untuk *fully-connected layer*. Lapisan ini akan menghitung skor kelas. Setiap neuron dalam lapisan ini akan terhubung ke semua angka dalam volume. Terakhir adalah *softmax layer* yang berguna untuk menentukan klasifikasi dari citra masukan.

4. Hasil dan Analisis

4.1 Pengumpulan Data Citra Daun

Tahap pertama yang dilakukan penulis dalam perancangan sistem adalah mengumpulkan data citra daun yang dibagi menjadi 4 kelas yaitu daun normal, daun yang kekurangan unsur hara nitrogen, daun yang kekurangan unsur hara kalium, dan daun yang kekurangan unsur hara fosfor. Tiap kelas memiliki 100 data citra. Data citra daun ini nantinya akan digunakan sebagai data latih dan data uji. Pengumpulan data citra daun didapatkan dengan cara mengkondisikan beberapa tanaman. Tanaman yang dikondisikan menjadi tanaman yang normal diberikan pupuk N, P, dan K sesuai dengan rekomendasi pemupukan optimal. Tanaman yang dikondisikan menjadi tanaman yang kekurangan unsur hara tertentu diberikan perlakuan dengan dosis dibawah dosis optimal.

4.2 Skenario Pengujian Sistem

Algoritma yang digunakan pada sistem klasifikasi daun yakni menggunakan *convolutional neural network* dengan MATLAB sebagai bahasa pemrogramannya. Untuk observasi pengaruh jumlah *layer* dan *epoch* dilakukan pada 4 kelas daun yaitu kelas kekurangan kalium, kekurangan nitrogen, kekurangan fosfor, dan normal. Observasi dilakukan dengan menggunakan 10 sampel daun tiap kelas. Observasi dilakukan untuk mengetahui jumlah *layer* dan *epoch* yang terbaik untuk sistem ini. Berikut merupakan parameter uji observasi performansi sistem :

1. Akurasi

Akurasi menggambarkan seberapa akurat model dapat mengklasifikasikan dengan benar. Akurasi merupakan rasio prediksi benar (positif dan negatif) dengan keseluruhan data.

$$Akurasi = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100\% \quad (2)$$

2. Presisi

Presisi menggambarkan tingkat keakuratan antara data yang diminta dengan hasil prediksi yang diberikan oleh model. Presisi merupakan rasio prediksi benar positif dibandingkan dengan keseluruhan hasil yang diprediksi positif.

$$Presisi = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\% \quad (3)$$

3. Recall

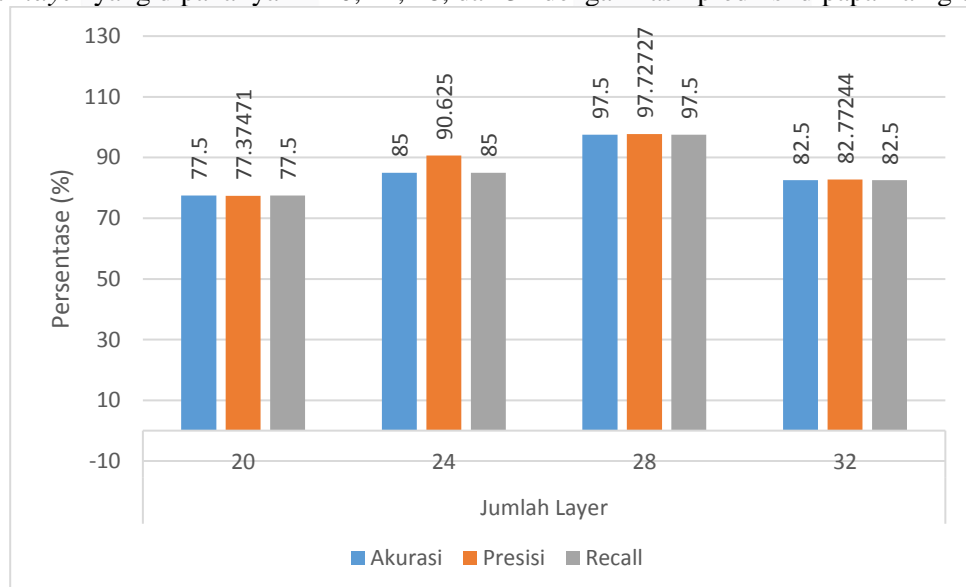
Recall menggambarkan keberhasilan model dalam menemukan kembali sebuah informasi. Recall merupakan rasio prediksi benar positif dibandingkan dengan keseluruhan data yang benar positif.

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% \quad (4)$$

Untuk pengujian klasifikasi warna daun dilakukan dengan menggunakan 5 sampel daun tiap kelas. Tiap sampel daun dilakukan 5 kali pengujian. Pengujian dilakukan untuk mendeteksi daun yang digunakan untuk mengetahui kebutuhan pupuk pada tanaman tomat. *Datasets* daun yang digunakan untuk proses pelatihan berjumlah 400 sampel.

4.3 Observasi Pengaruh Jumlah Layer terhadap Performansi Sistem

Observasi jumlah *layer* dilakukan untuk mencari tahu model yang paling optimal pada saat proses *training*. Adapun jumlah *layer* yang dipakai yakni 20, 24, 28, dan 32 dengan hasil prediksi dipaparkan grafik berikut :

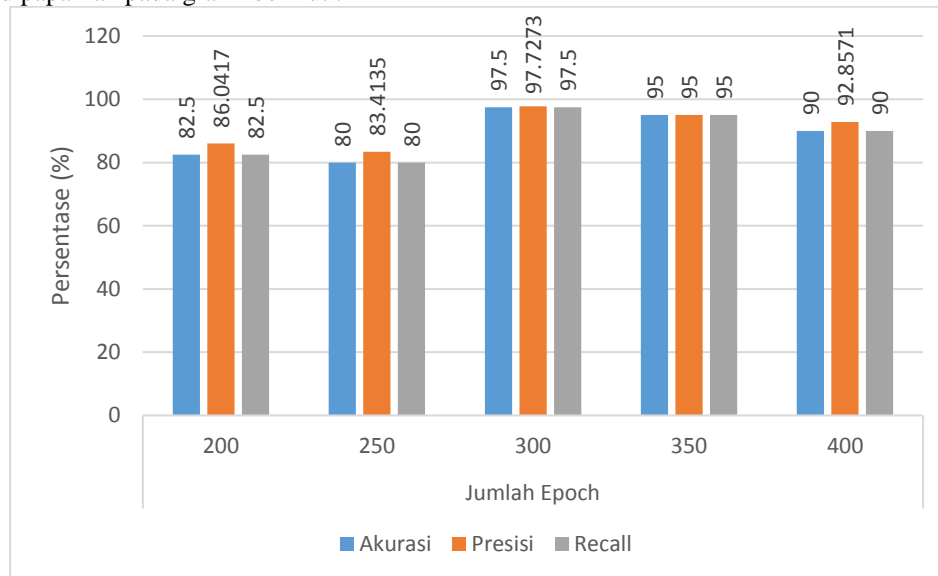


Gambar 4.1 Observasi Pengaruh Jumlah Layer

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa jumlah *layer* yang memiliki nilai akurasi, presisi dan *recall* yang paling tinggi adalah saat menggunakan 28 *layer*. Nilai akurasi, presisi, dan *recall* saat menggunakan 28 *layer* berturut-turut adalah 95%, 97,727%, dan 95%. Dengan ini dapat disimpulkan jumlah *layer* yang paling optimal untuk sistem ini yaitu sebanyak 28 *layer*. Sedangkan *layer* sebanyak 32 *layer* terlalu banyak untuk sistem yang menyebabkan menurunnya tingkat akurasi, presisi, dan *recall*.

4.4 Observasi Pengaruh Jumlah Epoch terhadap Performansi Sistem

Pengujian ini ditujukan untuk mencari performasi yang paling optimal yakni sistem yang tidak tergolong ke dalam kategori *underfitting* ataupun *overfitting*. Adapun jumlah *epoch* yang dipakai yakni 200, 250, 300, 350, dan 400 dengan hasil prediksi dipaparkan pada grafik berikut :



Gambar 4.2 Observasi Pengaruh Jumlah Epoch

Dari Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa jumlah *epoch* dengan nilai akurasi, presisi, dan *recall* tertinggi untuk sistem ini adalah saat menggunakan 300 *epoch*. Nilai akurasi, presisi, dan *recall* saat menggunakan 300 *epoch* berturut-turut adalah 95%, 97.727%, dan 95%. Dengan ini dapat disimpulkan jumlah *epoch* yang paling optimal untuk sistem yaitu sebanyak 300 *epoch*. Jumlah *epoch* yang terlalu sedikit akan menyebabkan model mengalami *underfitting*. Sedangkan apabila jumlah *epoch* terlalu banyak akan menyebabkan model mengalami *overfitting*.

4.5 Pengujian pada Sistem Klasifikasi Daun

4.5.1 Pengujian Deteksi pada Daun yang Kekurangan Unsur Hara Kalium

Percobaan ke -	Kondisi	Deteksi	Hasil Deteksi	Aksi Pompa
1	Kekurangan K-1	Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup
2		Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup
3		Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup
4		Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup
5		Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup
6	Kekurangan K-2	Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup
7		Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup
8		Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup
9		Normal	Salah	Pompa Mati
10		Normal	Salah	Pompa Mati
11	Kekurangan K-3	Kekurangan k	Benar	Pompa K hidup
12		Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup
13		Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup
14		Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup
15		Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup
16	Kekurangan K-4	Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup
17		Normal	Salah	Pompa Mati
18		Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup
19		Normal	Salah	Pompa Mati
20		Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup
21	Kekurangan K-5	Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup
22		Kekurangan P	Salah	Pompa P hidup
23		Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup
24		Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup
25		Kekurangan K	Benar	Pompa K hidup

Tabel di atas merupakan data hasil pengujian deteksi pada daun yang kekurangan unsur hara kalium. Deteksi akurasi pada daun yang kekurangan unsur hara kalium memiliki nilai akurasi yang baik dibandingkan dengan pengujian pada daun kelas lain yaitu sebesar 80%. Aksi pompa sudah benar yaitu ketika sistem mendeteksi daun yang kekurangan

kalium, pompa K akan hidup.

4.5.2 Pengujian Deteksi pada Daun yang Kekurangan Unsur Hara Nitrogen

Percobaan ke -	Kondisi	Deteksi	Hasil Deteksi	Aksi Pompa
1	Kekurangan N-1	Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
2		Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
3		Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
4		Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
5		Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
6	Kekurangan N-2	Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
7		Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
8		Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
9		Normal	Salah	Pompa Mati
10	Kekurangan N-3	Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
11		Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
12		Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
13		Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
14		Normal	Salah	Pompa Mati
15	Kekurangan N-4	Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
16		Normal	Salah	Pompa Mati
17		Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
18		Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
19	Kekurangan N-5	Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
20		Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
21		Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
22		Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
23		Normal	Salah	Pompa Mati
24	Kekurangan N-5	Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup
25		Kekurangan N	Benar	Pompa N hidup

Tabel di atas merupakan data hasil pengujian deteksi pada daun yang kekurangan unsur hara nitrogen. Deteksi akurasi pada daun yang kekurangan unsur hara nitrogen memiliki nilai akurasi yang baik yaitu sebesar 88%. Aksi pompa sudah benar yaitu ketika sistem mendeteksi daun yang kekurangan nitrogen, pompa N akan hidup.

4.5.3 Pengujian Deteksi pada Daun yang Kekurangan Unsur Hara Fosfor

Percobaan ke -	Kondisi	Deteksi	Hasil Deteksi	Aksi Pompa
1	Kekurangan P-1	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup
2	Kekurangan P-2	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup
3	Kekurangan P-3	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup
4	Kekurangan P-4	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup
5	Kekurangan P-5	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup
6	Kekurangan P-6	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup
7	Kekurangan P-7	Kekurangan N	Salah	Pompa N hidup
8	Kekurangan P-8	Kekurangan N	Salah	Pompa N hidup
9	Kekurangan P-9	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup
10	Kekurangan P-10	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup
11	Kekurangan P-11	Kekurangan N	Salah	Pompa N hidup
12	Kekurangan P-12	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup
13	Kekurangan P-13	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup
14	Kekurangan P-14	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup
15	Kekurangan P-15	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup
16	Kekurangan P-16	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup
17	Kekurangan P-17	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup

18	Kekurangan P-18	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup
19	Kekurangan P-19	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup
20	Kekurangan P-20	Normal	Salah	Pompa mati
21	Kekurangan P-21	Kekurangan N	Salah	Pompa N hidup
22	Kekurangan P-22	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup
23	Kekurangan P-23	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup
24	Kekurangan P-24	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup
25	Kekurangan P-25	Kekurangan P	Benar	Pompa P hidup

Tabel di atas merupakan data hasil pengujian deteksi pada daun yang kekurangan unsur hara fosfor. Deteksi akurasi pada daun yang kekurangan unsur hara kalium memiliki nilai akurasi yang baik dibandingkan dengan pengujian pada daun kelas lain yaitu sebesar 80%. Aksi pompa sudah benar yaitu ketika sistem mendeteksi daun yang kekurangan fosfor, pompa P kan hidup.

4.5.4 Pengujian Deteksi pada Daun Normal

Percobaan ke -	Kondisi	Deteksi	Hasil Deteksi	Aksi Pompa
1	Normal-1	Normal	Benar	Pompa mati
2		Normal	Benar	Pompa mati
3		Normal	Benar	Pompa mati
4		Normal	Benar	Pompa mati
5		Normal	Benar	Pompa mati
6	Normal-2	Normal	Benar	Pompa mati
7		Normal	Benar	Pompa mati
8		Normal	Benar	Pompa mati
9		Normal	Benar	Pompa mati
10	Normal-3	Normal	Benar	Pompa mati
11		Normal	Benar	Pompa mati
12		Normal	Benar	Pompa mati
13		Normal	Benar	Pompa mati
14		Normal	Benar	Pompa mati
15	Normal-4	Normal	Benar	Pompa mati
16		Normal	Benar	Pompa mati
17		Normal	Benar	Pompa mati
18		Normal	Benar	Pompa mati
19		Normal	Benar	Pompa mati
20	Normal-5	Normal	Benar	Pompa mati
21		Normal	Benar	Pompa mati
22		Normal	Benar	Pompa mati
23		Normal	Benar	Pompa mati
24		Normal	Benar	Pompa mati
25	Normal	Benar	Pompa mati	

Tabel di atas merupakan data hasil pengujian deteksi pada daun normal. Deteksi daun pada daun normal memiliki akurasi yang sangat baik. Persentase akurasi deteksi pada daun normal adalah sebesar 100%. Aksi dari pompa benar yaitu pompa mati.

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan :

1. Data citra yang digunakan untuk *training* model sebanyak 400 buah.
2. Jumlah *layer* dan *epoch* mempengaruhi tingkat akurasi, presisi, dan *recall* sistem. Jumlah *layer* yang memiliki tingkat akurasi, presisi, dan *recall* yang terbaik adalah 28 *layer*. Jumlah *epoch* yang memiliki tingkat akurasi, presisi, dan *recall* yang terbaik adalah 300 *epoch*.
3. Pengujian deteksi daun memiliki nilai akurasi yang cukup baik dengan persentase akurasi sebesar 87%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dari perancangan, pengujian dan analisis dari tugas akhir ini maka penulis memberi saran :

1. Sebaiknya menggunakan data citra untuk *training* model yang lebih banyak dan lebih bervariasi.
2. Menambahkan klasifikasi objek daun dan objek lain pada tanaman agar tidak menggunakan kotak untuk pengambilan citra daun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Wasonowati, "MENINGKATKAN PERTUMBUHAN TANAMAN TOMAT (*Lycopersicon esculentum*) DENGAN SISTEM BUDIDAYA HIDROPONIK".
- [2] FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2017. [Online]. Available: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- [3] Media Indonesia, "Petani Tomat Lembang Rugi Besar," 02 Juli 2019. [Online]. Available: <https://mediaindonesia.com/read/detail/244535-petani-tomat-lembang-rugi-besar>. [Accessed 2019 23 November].
- [4] H. Tugiyono, Bertanam Tomat, Jakarta: Penebar Swadaya, 1997.
- [5] Nurtika and Sumarni, "Pengaruh Sumber, Dosis, dan Waktu Aplikasi Pupuk Kalium terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tomat," 1992.
- [6] Z. Effendi, I. O. Y and M. H. A. Sembiring, "Deteksi Unsur Hara Makro N, P, dan K pada Daun Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) dengan Menggunakan Metode Image Processing Berdasarkan Filter Sobel," 2018.
- [7] H. Safriani, "PENGARUH MEDIA TANAM TERHADAP PERTUMBUHAN TOMAT (*SOLANUM LYCOPERSICUM* MILL.) SEBAGAI PENUNJANG PRAKTIKUM FISILOGI TUMBUHAN," [Online].
- [8] Subhan, N. Nurtika and N. Gunadi, "Respons Tanaman Tomat terhadap Penggunaan Pupuk Majemuk NPK 15-15-15 pada Tanah Latosol pada Musim Kemarau," 2008.
- [9] Amisnaipa, A. D. Susila, R. Situmorang and D. W. Purnomo, "Penentuan Kebutuhan Pupuk Kalium untuk Budidaya Tomat Menggunakan Irigasi Tetes dan Mulsa Polyethylene," 2009.
- [10] A. H. Permata Hati and A. D. Susila, "Optimasi Dosis Pemupukan Kalium pada Budi Daya Tomat (*Lycopersicon esculentum*) di Inceptisol Dramaga," 2016.
- [11] G. F. Dewanto, J. Londok and R. Tuturoong, "PENGARUH PEMUPUKAN ANORGANIK DAN ORGANIK TERHADAP PRODUKSI TANAMAN JAGUNG SEBAGAI SUMBER PAKAN".
- [12] BPTP Yogyakarta, "Budidaya Tomat," 2013. [Online]. Available: http://yogya.litbang.pertanian.go.id/ind/index.php?option=com_content&view=article&id=706:budi%20daya-tomat-&catid=14:alsin.
- [13] Lingga and Marsono, Petunjuk Penggunaan Pupuk.
- [14] mitalom.com, "Gejala Visual Kekurangan (Defisiensi) Unsur Hara Pada Tanaman," [Online]. Available: <https://mitalom.com/gejala-visual-kekurangan-defisiensi-unsur-hara-pada-tanaman/>. [Accessed 6 Desember 2019].
- [15] Q. Lina, "Apa itu Convolutional Neural Network?," 2 January 2019. [Online]. Available: [https://medium.com/@16611110/apa-itu-convolutional-neural-network-836f70b193a4#:~:text=Arsitektur%20dari%20CNN%20dibagi%20menjadi,%20Dconnected%20Layer%20\(MLP\).&text=Proses%20yang%20terjadi%20pada%20bagian,image%20tersebut%20\(Feature%20Extraction\)..](https://medium.com/@16611110/apa-itu-convolutional-neural-network-836f70b193a4#:~:text=Arsitektur%20dari%20CNN%20dibagi%20menjadi,%20Dconnected%20Layer%20(MLP).&text=Proses%20yang%20terjadi%20pada%20bagian,image%20tersebut%20(Feature%20Extraction)..)
- [16] D. Putra, Pengolahan Citra Digital, 2010.
- [17] A. Ford and A. Roberts, Color Space Conversions, 1998.
- [18] Bermaint TI Teman Belajar Komputer, "Membuat Aplikasi Mengubah Citra Warna Foto menjadi RGB dengan Visual Basic 2010," [Online]. Available: <http://bermain-ti.blogspot.com/2015/01/membuat-aplikasi-mengubah-citra-warna.html>. [Accessed 6 Desember 2019].
- [19] N. Sofia, "Convolutinal Neural Network," 9 Juni 2018. [Online]. Available: medium.com/@nadhifasofia/1-convolutional-neural-network-convolutional-neural-network-merupakan-salah-satu-metode-machine-28189e17335b. [Accessed 25 Juli 2020].
- [20] I. W. S. E. Putra, "Klasifikasi Citra Menggunakan Convolutional Neural Network (CNN) pada Caltech 101".
- [21] D. Stathakis, "How Many Hidden Layers And Nodes?," *International Journal of Remote Sensing*, 2008.
- [22] K. S. Nugroho, "Confusion Matrix untuk Evaluasi Model pada Supervised Learning," [Online]. Available: [https://medium.com/@ksnugroho/confusion-matrix-untuk-evaluasi-model-pada-supervised-machine-learning-bc4b1ae9ae3f#:~:text=Terdapat%204%20istilah%20sebagai%20representasi,dan%20False%20Negative%20\(FN\)..](https://medium.com/@ksnugroho/confusion-matrix-untuk-evaluasi-model-pada-supervised-machine-learning-bc4b1ae9ae3f#:~:text=Terdapat%204%20istilah%20sebagai%20representasi,dan%20False%20Negative%20(FN)..)
- [23] S. Narkhede, "Understanding Confusion Matrix," 9 Mei 2018. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/understanding-confusion-matrix-a9ad42dcfd62>.
- [24] Logitech, "Logitech C525," [Online]. Available: <https://www.logitech.com/id-id/product/hd-webcam-c525>.
- [25] nanopowerbd.com, [Online]. Available: nanopowerbd.com.