

Pengintegrasian Teknologi Internet of Things dalam Optimalisasi Pemupukan Organik untuk Pertumbuhan dan Hasil Panen Sacha Inchi

Sri Ayu Andayani^{1*}, Acep Atma Wijaya¹, Tri Ferga Prasetyo², Miftah Dieni Sukmasari¹,
Dadan Ramdani Nugraha¹, Syiffa Safiera Wahono³, Taufik Imanulyaqin⁴,
Billy Adrian Fernanda⁵, dan Muhamad Dendi Purwanto⁵

¹Fakultas Pertanian, Universitas Majalengka

Jl. KH Abdul Halim No. 103 Majalengka, Jawa Barat, Indonesia

²Fakultas Teknik, Universitas Majalengka

Jl. KH Abdul Halim No. 103 Majalengka, Jawa Barat, Indonesia

³Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian Universitas Majalengka

Jl. KH Abdul Halim No. 103 Majalengka, Jawa Barat, Indonesia

⁴Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Majalengka

Jl. KH Abdul Halim No. 103 Majalengka, Jawa Barat, Indonesia

⁵Program Studi Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Majalengka

Jl. KH Abdul Halim No. 103 Majalengka, Jawa Barat, Indonesia

*Alamat korespondensi: sriayuandayani@unma.ac.id

INFO ARTIKEL	ABSTRACT/ABSTRAK
Diterima: 29-11-2023 Direvisi: 28-02-2024 Dipublikasi: 30-04-2024	The Integration of Internet of Things to Optimize the Application of Organic Fertilizer for the Growth and Increase Yield of Sacha Inchi Plants
Keywords: Crop yields, Fertilizer treatment, Growth, Internet of Things (IoT) technology, Production sustainability, Sacha inchi	The sacha inchi plant has economic potency to be developed, so there is a need for sustainable production. One support for increasing growth and crop yields is using organic materials as fertilizer. The aim of this research is to analyze various organic fertilizer treatments made from chicken, goat and cow manure on the growth and yield of crops, this is then used to design optimal models based on various types of fertilizer treatments by utilizing Internet of Things (IoT) technology in automatic watering and fertilization. The model optimal for fertilizer treatment was developed using ANFIS method. Data collection was started from March to September 2023 in the Cikadu Village, Sindangkerta District, West Bandung Regency, West Java Province. The results demonstrated that the application of cow dung-based organic fertilizer treatment gave optimal results in several growth parameters including the number of leaves, number of stems and potential fruit with a prediction accuracy of the resulting model of 96%. The implications of this result, in practice, the cow dung-based organic material can be used as alternative fertilizer which has not been utilized so far and therefore can increase its value. Another implication of this result is that in theory, the model can be used to develop sustainable production through increasing several growth parameters including the number of leaves, number of stems and the number of potential fruits which has an impact on the plant yield, therefore the ecosystem in supporting the agroindustry of Sacha Inchi can be maintained.
Kata Kunci: Sacha Inchi, perlakuan pupuk, pertumbuhan, Teknologi <i>Internet of Things</i> (IoT) hasil	Tanaman sach a inchi memiliki potensi ekonomi yang baik sehingga perlu pengembangan dengan mempertimbangkan sistem produksi berkelanjutan. Salah satu pendukung peningkatan pertumbuhan dan hasil panen adalah pemupukan dengan bahan organik. Tujuan dari penelitian ini adalah

panen, keberlanjutan
produksi

menganalisis berbagai perlakuan pupuk dari bahan organik kotoran hewan ayam, kambing, dan sapi terhadap pertumbuhan dan hasil panen sehingga terbentuk model yang optimal dari berbagai perlakuan jenis pupuk dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT) dalam penyiraman dan pemupukan otomatis. Model perlakuan pupuk yang optimal dikembangkan dengan menggunakan metode ANFIS. Pengumpulan data mulai bulan Maret hingga September 2023 di Desa Cikadu. Kecamatan Sindangkerta, Kabupaten Bandung Barat Provinsi Jawa Barat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi perlakuan pupuk organik dengan bahan kotoran hewan sapi menunjukkan hasil yang optimal pada parameter pertumbuhan jumlah daun, jumlah batang dan jumlah buah potensial dengan akurasi prediksi terhadap model yang dihasilkan sebesar 96%. Implikasi hasil penelitian ini secara praktek dapat memanfaatkan bahan organik kotoran sapi sebagai alternatif pemupukan yang selama ini belum dimanfaatkan dan dijadikan nilai tambah. Implikasi lain secara teori yaitu dapat mengembangkan keberlanjutan produksi melalui pertumbuhan jumlah daun, jumlah batang dan jumlah buah potensial yang berdampak pada hasil panen sehingga ekosistem dalam mendukung agroindustri sacha inchi dapat tetap terjaga.

PENDAHULUAN

Tanaman yang berpotensi dikembangkan secara ekonomi salah satunya yaitu tanaman sacha inchi (Suwapat *et al.* 2022). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L) termasuk family Euphorbiaceae yang berasal dari hutan hujan Amazon di Peru (Chirinos *et al.* 2013). Wilayah Peru termasuk produsen terbesar dengan menghasilkan sekitar 1200 ton per tahun kemudian diikuti oleh negara Amerika Latin lainnya seperti Kolombia, Brasil, Bolivia, dan Ekuador serta negara-negara Asia yaitu Cina, Kamboja, Laos, dan Thailand (Torres *et al.*, 2021). Sacha inchi dikenal sebagai tanaman sumber nutrisi yang mengandung minyak (48-50%) dan protein sehat (27-28%) (Gong *et al.*, 2018; Maurer *et al.*, 2018; Muangrat *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2022; Bondioli *et al.*, 2020). Minyak biji Sacha inchi mempunyai kandungan senyawa bernilai dalam jumlah besar (Cortina *et al.*, 2020) dan diakui mempunyai nilai gizi tinggi yang bermanfaat untuk kesehatan manusia (Raihan *et al.*, 2022) serta kaya akan asam lemak tak jenuh (Valdiviezo *et al.*, 2019; Gutierrez *et al.*, 2011; Ramos *et al.*, 2019; Fanali *et al.*, 2011; Vicente *et al.*, 2015). Selain itu, sacha inchi juga banyak mengandung omega 3, omega 6, asam lemak esensial dan omega 9 (Supriyanto *et al.*, 2022).

Bagian dari tanaman sacha inchi seperti biji, kulit biji, dan daun dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan sehingga memiliki potensi komersial. Tanaman sacha inchi banyak digunakan pada berbagai industri makanan dan farmasi (Luis *et*

al., 2011) serta dapat dijadikan industri pangan berkelanjutan (Kodahl, 2022). Minyak yang terkandung dalam tanaman sacha inchi mempunyai stabilitas yang tinggi (Lina *et al.*, 2021), lebih lanjut asam lemak esensial terutama omega 3 dan omega 6 yang terkandung di dalamnya juga sangat baik digunakan untuk suplemen makanan (Ramos *et al.*, 2019). Melihat besarnya potensi dari tanaman sacha inchi ini maka perlu adanya upaya produksi yang berkelanjutan. Salah satu pendukung dalam peningkatan produktivitas dan hasil panen sacha inchi adalah melalui pemupukan. Bahan organik sangat diperlukan dalam pertumbuhan tanaman. Penambahan bahan organik dari beberapa sumber seperti pupuk kandang dan kompos sisa tanaman dapat memperbaiki kesuburan tanah dengan meningkatkan kandungan bahan organik tanah sekaligus memperbaiki struktur tanah (Zhang & Xu, 2005; Li *et al.*, 2010).

Perkembangan teknologi termasuk penggunaannya dalam bidang pertanian dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi kegiatan-kegiatan budidaya tanaman yang dilakukan. Salah satu kegiatan dalam budidaya tanaman yang dapat ditingkatkan nilai efektifitas dan efisiensinya dengan pemanfaatan teknologi adalah pemupukan. Pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) dalam pemupukan dapat meningkatkan efektifitas pemupukan yang dilakukan, hal ini dikarenakan pemasangan sensor unsur hara di sekitar tanaman akan dapat mengukur tingkat kebutuhan unsur hara tanaman sehingga pemberian unsur hara akan lebih

teratur. Hasil penelitian Agrinusa dkk. (2020) melaporkan bahwa tanaman semangka yang dibudidayakan secara hidroponik dengan penerapan IoT menunjukkan pertumbuhan dan hasil lebih baik dibandingkan dengan sistem hidroponik biasa. Barus dan Sahputra (2023) melaporkan bahwa penerapan monitoring menggunakan IoT dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman cabai merah. Iqbal dkk. (2023) melaporkan pendeteksian kesuburan tanah melalui IoT dapat meningkatkan efisiensi pemupukan yang dilakukan dalam proses budidaya tanaman. Berdasarkan hal tersebut, penerapan IoT dalam monitoring unsur hara yang dibutuhkan tanaman sangat bermanfaat dalam efisiensi pemupukan.

Pemupukan dapat dianalisis dengan menggunakan metode ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*). ANFIS merupakan gabungan dari logika fuzzy dan JST (Jaringan Syaraf Tiruan), sehingga metode ini berpotensi untuk menangkap keunggulan keduanya dalam satu kerangka kerja (Hakim dkk., 2021). Penggunaan metode ANFIS dalam memprediksi suatu model sudah banyak dilakukan. Hasil penelitian Hadi (2015) melaporkan bahwa metode ANFIS dapat dimanfaatkan untuk memprediksi kemampuan nasabah dalam pembayaran pinjaman. Ramadanti dkk. (2023) melaporkan penggunaan metode ANFIS dapat memprediksi model pada kasus prediksi Indeks Harga Konsumen (IHK). Selama ini penggunaan ANFIS digunakan dalam memprediksi dalam bidang social ekonomi. Dalam penelitian ini metode ANFIS digunakan dalam memprediksi efektifitas pemupukan yang dilakukan.

Pemberian pupuk berbahan dasar bahan organik pada tanaman sachu inchi sangat diperlukan untuk menjaga produktivitas dan hasil panen sehingga memerlukan berbagai referensi jenis dan cara pemberian pupuk organik yang tepat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh berbagai perlakuan pupuk organik yang berasal dari kotoran hewan ayam, kambing dan sapi terhadap pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman sachu inchi. Pemberian pupuk menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT)

yang menjadi sistem pendukung dalam penelitian ini untuk aplikasi pemupukan secara otomatis. Hasil penelitian kemudian dapat dijadikan sebagai model rekomendasi untuk budidaya tanaman sachu inchi yang dapat menghasilkan pertumbuhan dan hasil panen yang optimal.

BAHAN DAN METODE

Lokasi Penelitian

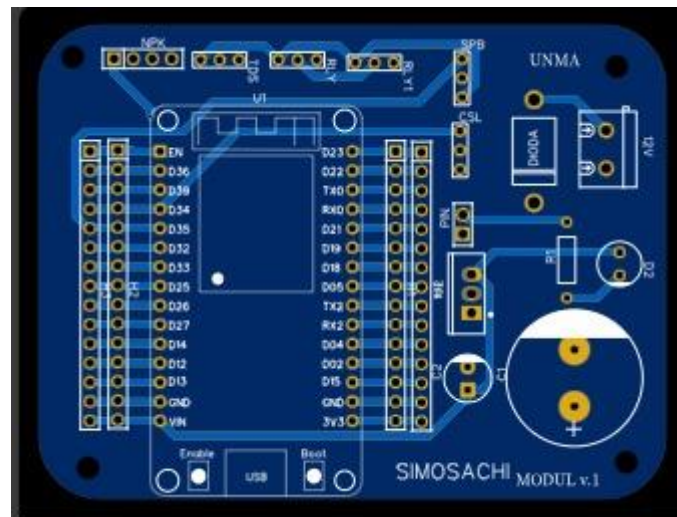
Penelitian ini dilaksanakan di Desa Cikadu, Kecamatan Sindangkerta, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat. Waktu pelaksanaan di mulai bulan Maret 2023 sampai bulan September 2023.

Desain Penelitian

Pemupukan dilakukan dengan menggunakan pupuk organik berbahan 100% kotoran ayam, kambing dan sapi yang dibuat sebagai pupuk cair. Dosis pupuk cair yang diberikan adalah 150 ml/l air. Pemupukan dilakukan setiap dua minggu sekali dengan cara dialirkan di sekitar tanaman sachu inchi (pada piringan) dengan menggunakan sistem yang berbasis IoT sebagai pendukung penelitian ini. Sistem IoT ini digunakan untuk mempermudah dan memonitoring proses penyiraman dan pemupukan secara tepat dan cepat. Data hasil sistem penyiraman dan pemupukan berbasis IoT yang dapat dimonitoring dari jauh kemudian dianalisis dengan metode ANFIS dalam prediksi model.

Perancangan Alat Berbasis *Internet of Things* dalam Pengembangan Tanaman Sachu inchi

Pengembangan tanaman Sachu inchi masih memerlukan kajian yang optimal terkait kestabilan produktivitas dan hasil panen. Melalui penelitian ini dibuat rancangan atau formulasi khusus peningkatan produktivitas melalui perlakuan 3 jenis pupuk berbasis *Internet of Things* (IoT). Sebelum mengimplementasikan alat elektronik yang digunakan perlu dibuat skema ilustrasi arsitektur teknologi yang akan diterapkan, agar pemasangan dan pembelanjaan lebih optimal dan efisien. Skema ilustrasi arsitektur teknologi ditampilkan pada Gambar 1.

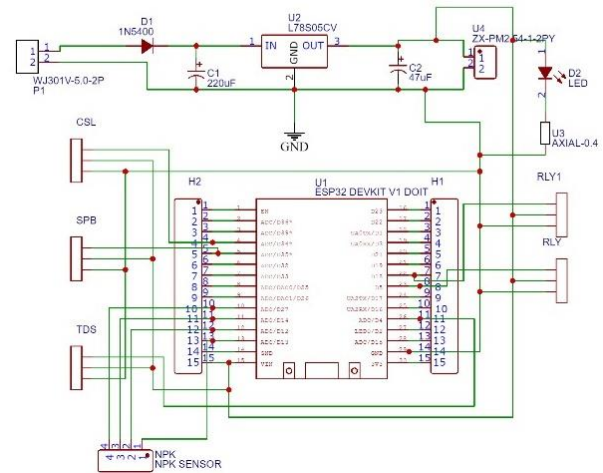
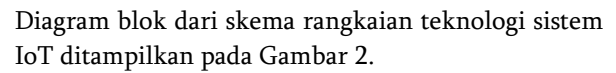


Komponen- komponen pada Gambar 1 dapat dijelaskan sebagai berikut:

(2) Relay adalah alat output yang digunakan untuk menghidupkan pompa. Relay digunakan untuk menyiram pupuk yang dijadwalkan satu minggu sekali. Cara kerjanya adalah pada dashboard aplikasi terdapat tombol yang berupa saklar on/off yang dapat dihidupkan setiap minggu, kemudian data yang telah diolah ESP32 akan dikirim melalui jaringan internet pada platform Arduino Cloud dan ditandai dengan RLY 1 dan 2.

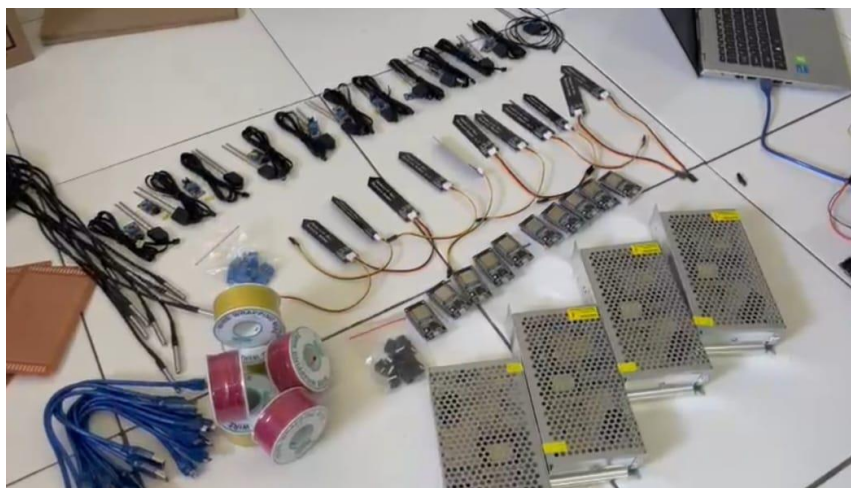
- (3) ESP32 jenis modul mikrokontroler yang digunakan untuk alat proses dimana nilai yang dihasilkan dari alat input diproses sesuai program yang ditanamkan pada mikrokontrolernya. Selain itu, ESP32 juga digunakan sebagai penghubung dengan akses internet dan mikrokontroler ESP32, kemudian data yang telah diolah ESP32 akan dikirim melalui jaringan internet pada platform Arduino Cloud,
- (4) Sensor NPK dapat mendeteksi unsur hara dalam tanah. Jika ujung sensor ditancapkan ke dalam tanah yang ingin dideteksi, hasil yang ditemukan oleh sensor akan dikirimkan dalam bentuk data sinyal analog ke ESP32, yang kemudian diproses melalui dashboard arduino cloud. Adapun rangkaian khusus untuk konversi tegangan yang awalnya 12 V dikonversi menjadi 5 Volt disesuaikan dengan maksimum tegangan yang diterima oleh EPS32, yang dinamakan step down.

Pada skema rangkaian alat diperlihatkan adanya pemasangan alat elektronik dengan sensor yang diberikan knowledge sesuai fungsinya yaitu kelembaban tanah, unsur hara, temperatur untuk mengoptimalkan efektifitas perlakuan pupuk. Tidak hanya itu pada tahapan elektronika perlu adanya pembuatan diagram blok agar pada saat pengintegrasian alat sesuai dengan jalur yang ada.



Gambar 2. Blok diagram alat teknologi sistem IoT sacha inchi

Tahapan *mapping frame* blok diagram ini sangat berguna pada tahapan elektronika untuk penggabungan alat dan pemasangan kabel saat dilakukan penyolderan. Langkah ini dilakukan untuk memastikan bahwa pemasangan alat sesuai jalur yang ditentukan dalam modul termasuk dengan pemasangan beberapa fungsi sensor yang dimanfaatkan.



Gambar 3. Sensor dan alat pendukung untuk optimalisasi budidaya sachal inchi

Setelah tahapan elektronika, maka tahap selanjutnya adalah persiapan alat dan bahan berupa sensor-sensor. Adapun sensor yang digunakan pada penelitian ini yaitu sensor soil moisture, DHT 11, sensor ds18b20 serta beberapa komponen elektronika pendukung seperti, power supply 12 V

DC, Kabel AWG 20, PCB atau Papan Circuit Board, USB Tipe B, Terminal Blok serta ESP32 sebagai mikrokontroler utamanya (Gambar 3). Tahap ini dilakukan untuk pengecekan fungsi sensor di lapangan. Yang termasuk dalam kegiatan persiapan alat yaitu dilakukan pemilihan beberapa sensor dan

mikrokontroler yang kemudian dilakukan uji coba alat atau hardware. Ketika sensor dan peralatan pendukungnya sudah dapat siap dipergunakan dan tidak mengalami gangguan maka selanjutnya yaitu tahapan perancangan atau perakitan hardware atau modul simosachi (sistem monitoring sachu inchi). Dalam simosachi ini terdapat monitoring

pemupukan tanaman sachu inchi yang dibedakan dari jenis 3 pupuk seperti terlihat pada Gambar 4. Pada tahap perancangan ini akan melihat dari 3 jenis perlakuan pupuk diteliti mana yang akan lebih memberikan hasil yang optimal untuk produksi tanaman sachu inchi. Bahan-bahan dipersiapkan seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Kegiatan perancangan atau perakitan hardware/modul simosachi



Gambar 5. Pupuk organik berbahan kotoran sapi, kambing dan ayam yang digunakan untuk optimalisasi budidaya tanaman sachu inchi.

Bahan-bahan yang diperlukan dipersiapkan sebelumnya untuk pembuatan pupuk organik cair dari bahan yaitu: (1) pupuk dari kotoran hewan ayam, (2) pupuk dari kotoran hewan kambing, (3) pupuk dari kotoran hewan sapi. Bahan-bahan kotoran hewan ternak tersebut kemudian dibuat pupuk organik cair. Langkah-langkah pembuatan pupuk organik cair adalah meliputi memasukkan bahan organik kotoran hewan ke dalam masing-masing tong, kemudian ditambahkan air dengan perbandingan 2:1 (2 bagian bahan organik : 1 bagian air). Selanjutnya EM4 sebanyak 10 ml per liter air serta molase kemudian ditambahkan dan diaduk.

Tong ditutup dengan rapat kemudian masukkan selang lewat tutup tong yang telah diberi lubang. Rekatkan tempat selang sehingga tidak ada udara masuk. Biarkan ujung selang yang lain masuk ke dalam botol yang sudah diberi air. Setelah 10 sampai 14 hari kemudian cek tingkat kematangan POC (pupuk organik cair). Jika wangi adonan seperti bau alkohol maka POC sudah jadi. Ampas bahan organik dari POC yang sudah jadi kemudian disaring dan dapat juga dijadikan pupuk organik padat. Setelah pembuatan pupuk organik cair, dilanjutkan dengan perakitan alat di lapangan (Gambar 6).



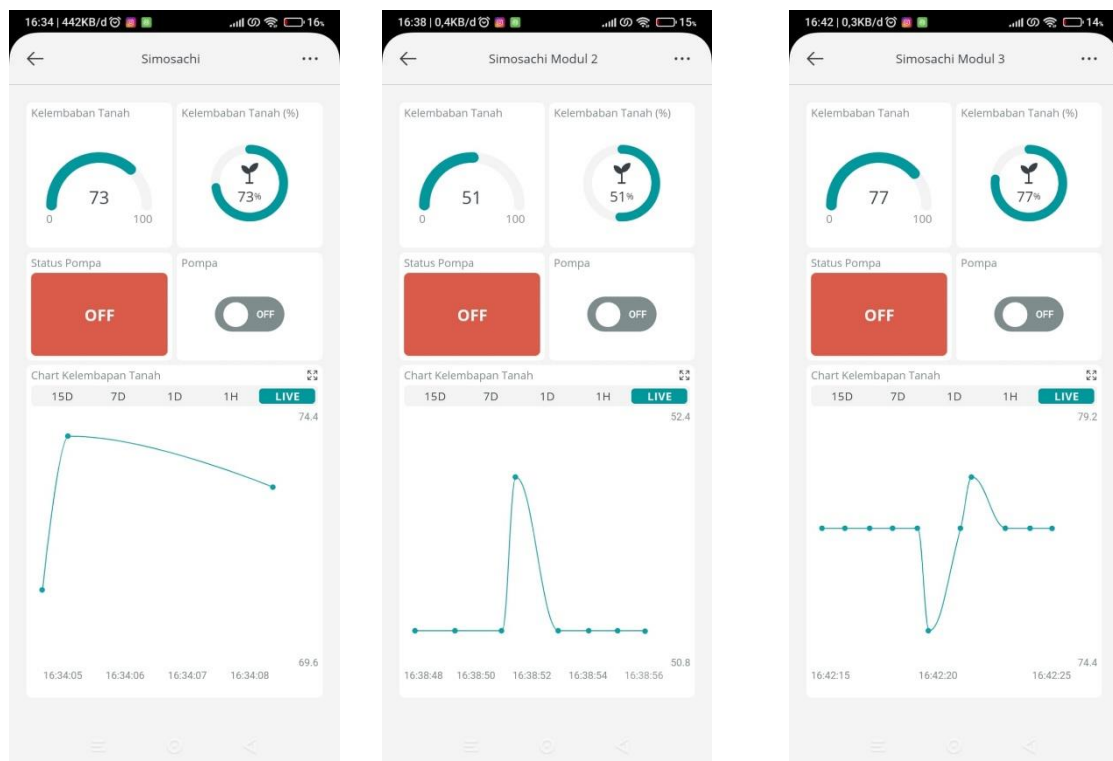
Gambar 6. Tahap perakitan alat di lapangan

Pada tahapan perakitan alat di lapangan dilakukan uji coba alat seperti sensor dan program yang disesuaikan dengan rancangan yaitu pengujian sensor kelembaban tanah (sensor ds18b20) sehingga dapat mendeteksi tingkat kekeringan lahan dan kadar air di lahan percobaan. Lalu, selain tahapan perakitan alat dan uji coba sensor adapun pengujian konektivitas jaringan yang terkoneksi kepada modul simosachi ini, setelah tahapan pengujian konektivitas jaringan, pengujian rancangan alat ini

secara teknis akan menghidupkan pompa air selama 1-2 menit yang disesuaikan dengan luasnya lahan. Kemudian dilakukan pula pengujian seberapa lama alat bisa bertahan pada cuaca panas, dingin, ataupun hujan. Adapun tahapan pengintegrasian hardware dan software diperlukan pengujian bertahap untuk menguji hardware simosachi dan software Arduino IoT Cloud dapat berfungsi dan berinteraksi dengan baik.

☐	ESP32-M3 DOIT ESP32 DEVKIT V1	Online	Simosachi Modul 3
☐	ESP32-REL DOIT ESP32 DEVKIT V1	Online	SIM MOD2
☐	ESP32-SM1 DOIT ESP32 DEVKIT V1	Online	Simosachi Modul 1
☐	ESP32-M4 DOIT ESP32 DEVKIT V1	Offline	Simosachi Modul 4

Gambar 7. Tahapan indikator integrasi sensor yang di tanam pada 4 modul simosachi yang terpasang sensor pendukung penelitian



Gambar 8. Dashboard Aplikasi Simosachi dan sensor-sensor yang telah diterapkan pada tanaman Sacha inchi dengan 3 perlakuan pupuk

Gambar 8 merupakan tampilan monitoring 3 perlakuan pupuk yang ditandai dengan nama dashboard simosachi untuk monitoring tanaman yang menggunakan pupuk ayam, simosachi modul 2 memonitoring tanaman sachu inchi yang menggunakan pupuk sapi, dan yang ketiga simosachi modul 3 digunakan untuk memonitoring tanaman

yang menggunakan pupuk kambing. Adapun sensor yang saat penelitian ini digunakan disesuaikan dengan data yang akan di ambil yaitu, sensor Soil Moisture sensor yang digunakan untuk memonitoring kelembapan tanah pada tanaman sachu inchi. Selain sensor, juga terdapat relay sebagai intraksi hardware dan software Arduino IoT Cloud

yang berfungsi untuk menghidupkan pompa yang mengeluarkan pupuk dari setiap 3 perlakuan pupuk pada lahan tanaman sacha inchi yang disesuaikan dengan karakteristik pemberian pupuk pada tanaman sacha inchi ini.

Sampel Tanaman dan Analisis Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer. Data primer didapat dari sampel tanaman sebanyak 200 pohon yang diperlakukan dengan perlakuan pupuk. Parameter yang diamati yaitu jumlah daun per tanaman dan jumlah batang tanaman sebagai indikator dari pertumbuhan vegetatif tanaman yang digunakan untuk variable input. Pengamatan dilakukan dengan menghitung jumlah daun yang terbentuk serta batang. Waktu pengamatan dilakukan setiap 2 minggu setelah aplikasi pupuk. Diamati juga jumlah buah yang mempunyai jumlah kapsul 4 dan 5 serta jumlah hasil panen sebagai indikator dari pertumbuhan generatif tanaman sacha inchi sebagai variable keluaran. Pengamatan dilakukan pada saat panen.

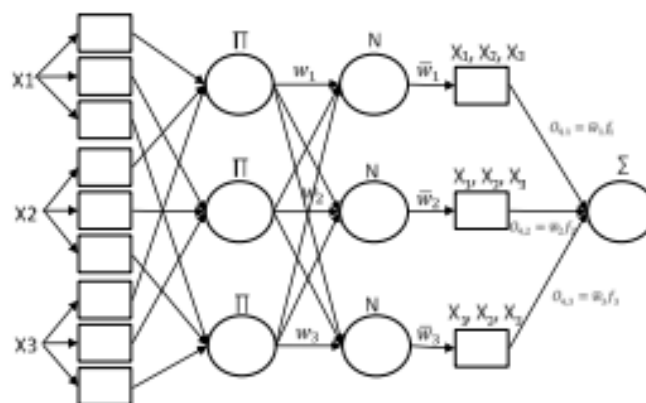
Analisis Data dengan Menggunakan ANFIS

Teknik analisis yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode deskriptif kuantitatif dengan menggunakan metode ANFIS untuk menganalisis perlakuan jenis pupuk. Untuk mengimplementasikan ANFIS dalam penelitian, diperlukan perangkat lunak untuk mengembangkan dan menerapkan ANFIS dalam hal ini digunakan MATLAB (Fuzzy Logic Toolbox dan Neuro-Fuzzy Toolbox). Sistem ANFIS adalah jaringan saraf adaptif berdasarkan sistem kesimpulan fuzzy (Faisal *et al.*, 2012). Sanjaya (2016) menyatakan bahwa penggunaan ANFIS dalam penelitian adalah mudah

dipahami, sangat fleksibel, mentolerir data yang dianggap tidak sesuai, mampu memodelkan data nonlinier, dan dapat membangun dan menerapkan pengalaman para ahli secara langsung. Metode ANFIS memiliki keunggulan memodelkan sisi kualitatif pengetahuan manusia dan mekanisme proses pengambilan keputusan melalui perintah yang dibangun (Faisal *et al.*, 2012). Jaringan saraf tiruan juga memiliki keunggulan dalam mengenali pola tertentu, mempelajari hal-hal baru, dan memecahkannya masalah tanpa perlu menerapkan pemodelan matematika (Ogunwolu *et al.*, 2011). Hal ini didasarkan data historis yang dimasukkan ke dalamnya dan dapat memprediksi kejadian di masa mendatang berdasarkan data tersebut (Dahal *et al.*, 2012).

Metode Analisis Neuro-fuzzy ANFIS

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) adalah jaringan yang berbasis pada system inference fuzzy. Parameter ANFIS dapat dipisahkan menjadi dua, yaitu parameter premis dan konsekuen yang dapat diadaptasikan dengan pelatihan hybrid. Pelatihan hybrid dilakukan dalam dua langkah, yaitu langkah maju dan langkah mundur (Santika *et al.*, 2017). System (ANFIS) yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode yang menggabungkan kecerdasan tiruan dari jaringan saraf (neural network) dengan kecemerlangan inferensi fuzzy untuk memodelkan hubungan antara input dan output dengan fuzzy base sugeno, fuzzy rule base, dan jaringan syaraf tiruan (JST). Arsitektur ANFIS terdapat fungsi radial dan adanya sedikit batasan tertentu. ANIFS memperbolehkan ketentuan atau aturan untuk untuk menyesuaikan diri (Kusumadewi & Hartati, 2010).



Gambar 9. Struktur Model ANFIS (Jang, *et al.*, 1997).

Keterangan: X_1, X_2, X_3 = nilai mean dari hasil clustering; Π = neuron tetap hasil kali dari input; N = hasil perhitungan rasio dari firing strength e-i; w_i = firing strength ke-i; Σ = neuron tunggal, penjumlahan seluruh output

Secara umum, proses prediksi menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System meliputi langkah-langkah berikut:

1. Input adalah data penggunaan pupuk kandang, jumlah daun, jumlah batang dan jumlah buah potensial.
2. Pada lapisan 2, masing – masing sinyal dari lapisan ini merupakan sinyal tetap yang berlabel Π yang berarti nilai keluaran dihasilkan dari semua sinyal yang datang.
3. Pada lapisan 3, masing – masing neuron merupakan node tetap yang merupakan hasil dari perhitungan menggunakan nilai rasio dan – predikat (w), dari aturan ke-I terhadap jumlah dari keseluruhan – predikat.
4. Pada lapisan 4, masing – masing neuron merupakan node yang bersifat adaptif
5. Pada lapisan 5, masing – masing neuron merupakan node tetap yang merupakan hasil dari penjumlahan dari semua masukan

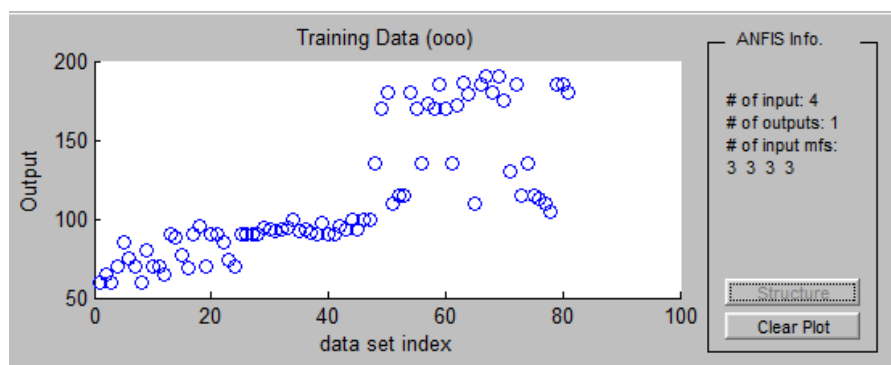
Dalam penelitian ini proses pada metode ANFIS terdiri dari 5 lapisan utama yakni proses lapisan 1 (fuzzyfikasi), lapisan 2 (operasi logika fuzzy), lapisan 3 (normalisasi derajat pengaktifan),

lapisan 4 (defuzzyfikasi), lapisan 5 (output) selain itu dalam ANFIS juga digunakan algoritma hybrid untuk mengatur parameter – parameter yang terdapat dalam metode ANFIS. Dalam algoritma hybrid terbagi menjadi 2 pembelajaran yaitu pembelajaran secara maju dan pembelajaran secara mundur. Pada pembelajaran maju digunakan algoritma LSE Recursive dan pada pembelajaran mundur digunakan algoritma Error Backpropagation (EBP). Untuk mengetahui tingkat error dari prediksi yang dihasilkan, maka pengukuran error dilakukan dengan menggunakan RMSE. Metode penelitian ini sesuai dengan Gambar 9.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis Neuro-Fuzzy ANFIS

Data input yang dimasukkan ke dalam program Neuro-Fuzzy ANFIS, terdiri dari data penggunaan pupuk organik (kotoran ayam, kambing, dan sapi) adalah data jumlah daun sachinchi yang diamati, jumlah cabang, dan jumlah buah potensial. Data yang ditampilkan pada Tabel 1 merupakan data tabular yang dijadikan sebagai data training ke dalam program ANFIS. Data yang diinput ke dalam program ANFIS seperti terlihat pada Gambar 10 akan dijadikan sebagai data training untuk dapat memperoleh output prediksi hasil panen sachinchi.



Gambar 10. Data training input

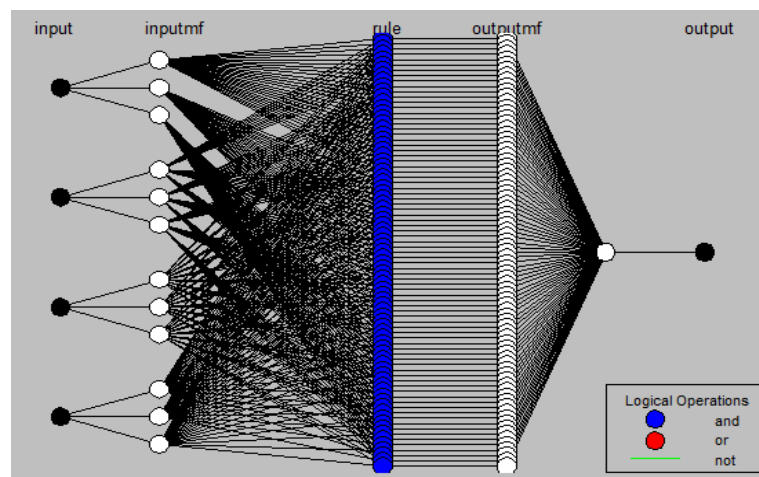
Dengan pengaturan kelembaban dan penyiraman melalui IoT maka didapat data seperti Tabel 1 (hasil pengamatan), maka data tersebut dianalisis melalui ANFIS untuk prediksi model hasil yang optimal. Dengan adanya input data training maka system Neuro-Fuzzy ANFIS akan secara otomatis membangun model di dalam program. Dari model ini selanjutnya akan terbentuk pola pada data yang akan memunculkan RMSE. Nilai toleransi dari RMSE adalah 0-1, nilai tersebut akan muncul dari

pola data terbaik yang akan dijadikan acuan dalam proses prediksi. Berdasarkan percobaan yang dilakukan, parameter terbaik dilakukan dengan menggunakan membership function sejumlah 4. Membership function ini yang akan membangun rules yang menjadi acuan dalam membangun output prediksi. Gambar 11 berikut ini merupakan gambar model yang terbangun dan terlihat didalam model tersebut yang menjadi pembatas output adalah rules.

Tabel 1. Data tabular penggunaan pupuk organik terhadap hasil panen sachu inchi yang didapat dengan system IoT

Penggunaan Pupuk	Jumlah daun	Jumlah Batang	Jumlah buah Potensial	Hasil Panen (gr)
Pupuk ayam (1)	173	15	13	60
Pupuk ayam (1)	182	17	14	65
Pupuk ayam (1)	163	14	13	60
Pupuk ayam (1)	192	18	15	70
Pupuk ayam (1)	243	21	18	85
Pupuk ayam (1)	222	19	17	75
Pupuk ayam (1)	193	18	15	70
Pupuk ayam (1)	172	15	13	60
Pupuk ayam (1)	235	22	19	80
Pupuk ayam (1)	222	20	15	70
Pupuk ayam (1)	193	18	15	70
Pupuk ayam (1)	172	18	15	65
Pupuk ayam (1)	235	22	19	90
Pupuk ayam (1)	231	21	19	88
Pupuk ayam (1)	183	17	16	77
Pupuk ayam (1)	192	18	15	69
Pupuk ayam (1)	242	21	19	90
Pupuk ayam (1)	245	22	20	95
Pupuk ayam (1)	193	18	16	70
Pupuk ayam (1)	242	20	19	90
Pupuk ayam (1)	243	23	20	90
Pupuk ayam (1)	232	21	19	85
Pupuk ayam (1)	183	19	17	74
Pupuk ayam (1)	192	18	16	70
Pupuk ayam (1)	242	21	19	90
Pupuk ayam (1)	212	20	19	90
Pupuk ayam (1)	242	21	19	90
Pupuk Sapi (2)	231	20	20	90
Pupuk Sapi (2)	294	26	22	94
Pupuk Sapi (2)	256	22	21	93
Pupuk Sapi (2)	263	23	21	92
Pupuk Sapi (2)	242	21	21	93
Pupuk Sapi (2)	231	21	21	94
Pupuk Sapi (2)	294	25	24	100
Pupuk Sapi (2)	256	22	20	92
Pupuk Sapi (2)	263	24	21	93
Pupuk Sapi (2)	242	21	20	91
Pupuk Sapi (2)	256	21	19	90
Pupuk Sapi (2)	263	24	23	97
Pupuk Sapi (2)	242	21	20	90
Pupuk Sapi (2)	231	23	20	90
Pupuk Sapi (2)	294	26	23	95
Pupuk Sapi (2)	256	22	21	93
Pupuk Sapi (2)	263	25	24	100
Pupuk Sapi (2)	277	24	21	93
Pupuk Sapi (2)	284	25	23	100
Pupuk kambing (3)	279	25	23	100
Pupuk kambing (3)	289	27	26	135
Pupuk kambing (3)	334	32	30	170
Pupuk kambing (3)	356	35	32	180
Pupuk kambing (3)	280	25	23	110
Pupuk kambing (3)	289	26	24	115
Pupuk kambing (3)	294	27	24	115
Pupuk kambing (3)	356	35	32	180

Penggunaan Pupuk	Jumlah daun	Jumlah Batang	Jumlah buah Potensial	Hasil Panen (gr)
Pupuk kambing (3)	297	30	29	170
Pupuk kambing (3)	293	27	25	135
Pupuk kambing (3)	299	30	29	173
Pupuk kambing (3)	325	31	30	170
Pupuk kambing (3)	356	35	32	185
Pupuk kambing (3)	297	30	29	170
Pupuk kambing (3)	289	26	23	135
Pupuk kambing (3)	324	31	29	172
Pupuk kambing (3)	346	34	30	186
Pupuk kambing (3)	321	31	30	179
Pupuk kambing (3)	289	26	24	110
Pupuk kambing (3)	356	35	32	185
Pupuk kambing (3)	367	36	33	190
Pupuk kambing (3)	356	35	32	180
Pupuk kambing (3)	367	36	33	190
Pupuk kambing (3)	299	30	29	175
Pupuk kambing (3)	294	28	26	130
Pupuk kambing (3)	346	34	32	185
Pupuk kambing (3)	279	25	23	115
Pupuk kambing (3)	289	28	27	135
Pupuk kambing (3)	286	27	23	115
Pupuk kambing (3)	281	26	23	113
Pupuk kambing (3)	277	24	22	110
Pupuk kambing (3)	273	24	22	105
Pupuk kambing (3)	342	34	32	185
Pupuk kambing (3)	345	35	33	185
Pupuk kambing (3)	334	32	30	180

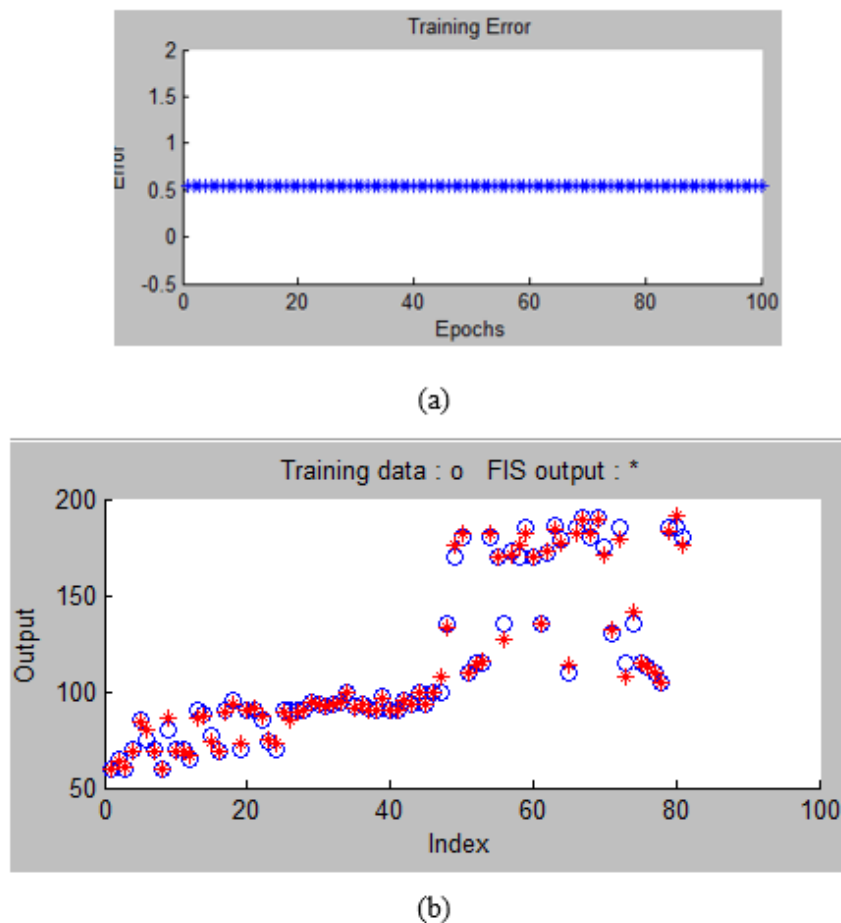


Gambar 11. Struktur Model yang dibangun

Training Data

Proses training akan mempropagasi nilai data test kembali melalui backpropagation dengan menggunakan gradient descent untuk memperbaiki parameter premis yang ada di layer satu. Pemrograman dengan metode ANFIS dilatih dalam dua kelas, epoch maksimum 100, error 0–1, dan learning rate berkisar antara 0,6 hingga 0,9. Berdasarkan Gambar 12 nilai RMSE terkecil adalah 0.541, dan terlihat bahwa training plot (biru)

mengikuti pola data testing (merah). Kecepatan pembelajaran yang kecil menyebabkan jumlah yang lebih besar untuk mencapai RMSE yang sama. Sebaliknya, dengan menentukan learning rate yang besar, epoch yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit. Namun, konvergensi yang terlalu cepat dapat mengakibatkan bobot yang diperoleh tidak menjadi nilai global yang optimum sehingga hasil forecast terlihat sudah memenuhi standar pengukuran sebuah model prediksi.

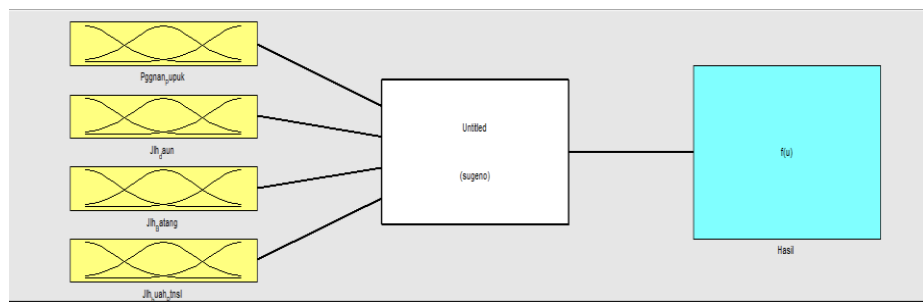


Gambar 12. Training error and data: (a) training error, (b) plotting training (blue) and testing (red) data.

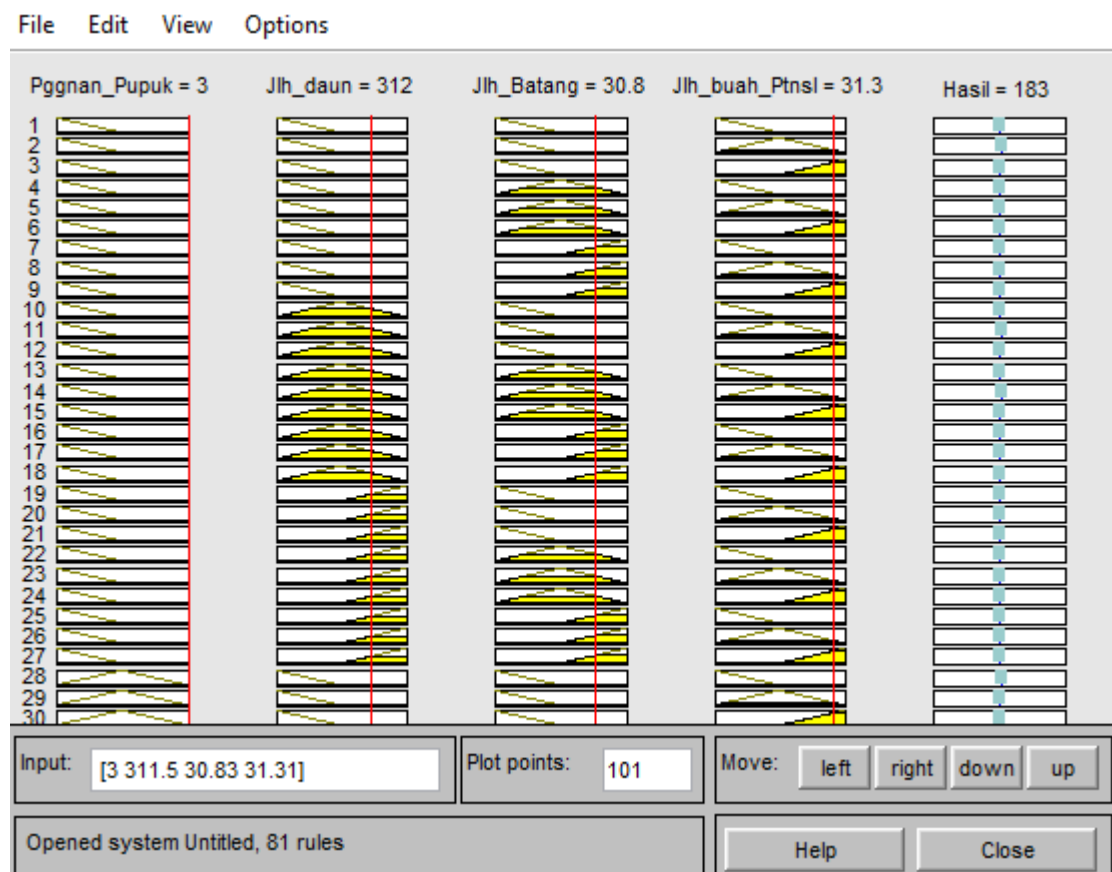
Prediksi hasil panen sachta inchi dibangun dengan pembangunan model dalam ANFIS dengan 4 data input yang mempunyai member fungsi yang berbeda dengan masing masing variable memiliki 3 kelas yaitu jumlah daun, jumlah batang dan jumlah buah potensial dalam perlakuan jenis pupuk yaitu kotoran hewan ayam, kambing dan sapi terlihat pada Gambar 13. Dari kombinasi data input dan output tersebut diperoleh 81 rules seperti pada Gambar 14. Pada salah satu eksperimen yang telah dilakukan diperoleh struktur model ANFIS yang dikembangkan yaitu [3 311.5 26.78 30.44] yang menunjukkan bahwa ketika penggunaan pupuk kandang kotoran sapi, tingkat kerapatan daun baik kisaran jumlah 311, jumlah cabang sedang pada kisaran 26-27, hingga jumlah buah potensial berada pada kisaran 30-31 maka output prediksi hasil panen berada pada kisaran 183 gram. Hasil penelitian Atman *et al.* (2018) melaporkan bahwa pemberian pupuk kandang sapi berkorelasi positif signifikan terhadap hasil tanaman padi yang dibudidayakan secara organik. Maka dalam kesimpulan pada output

prediksi hasil panen pada kasus ini harus disesuaikan dengan pola penggunaan pupuk kandang, sehingga hasil panen sachta inchi akan lebih maksimal. Hal ini akan berpengaruh pula terhadap produksi minyak pada tanaman sachta inchi karena tanaman ini memerlukan pupuk dalam jumlah yang tinggi (Cai, 2013).

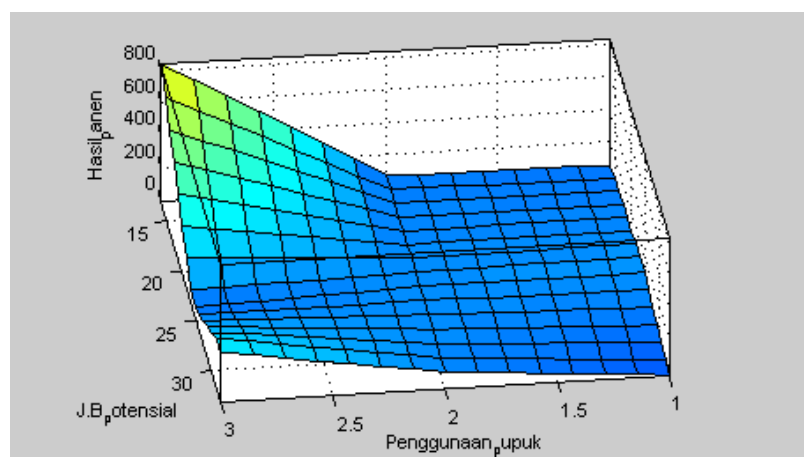
Pada Gambar 15 terlihat grafik 3 dimensi yang dihasilkan oleh pemograman ANFIS berdasarkan data input yang di training. Terlihat bahwa untuk memperoleh hasil panen yang maksimal maka diperlukan penggunaan pupuk yang berada pada skala 3 yang berarti penggunaan pupuk kandang dari kotoran sapi dan buah potensial berada di sekitar 15-20. Hal ini membuktikan bahwa dengan penggunaan pupuk kandang dari sapi akan meningkatkan bobot buah potensial Sachta inchi yang akan dipanen mulai dari 500 hingga 900 g. Hasil penelitian Saputri dkk. (2022) melaporkan bahwa pemberian pupuk kandang sapi yang dikombinasikan dengan pupuk NPK 30% dapat meningkatkan bobot buah pada tanaman terung.



Gambar 13. Rancangan Input dan Output



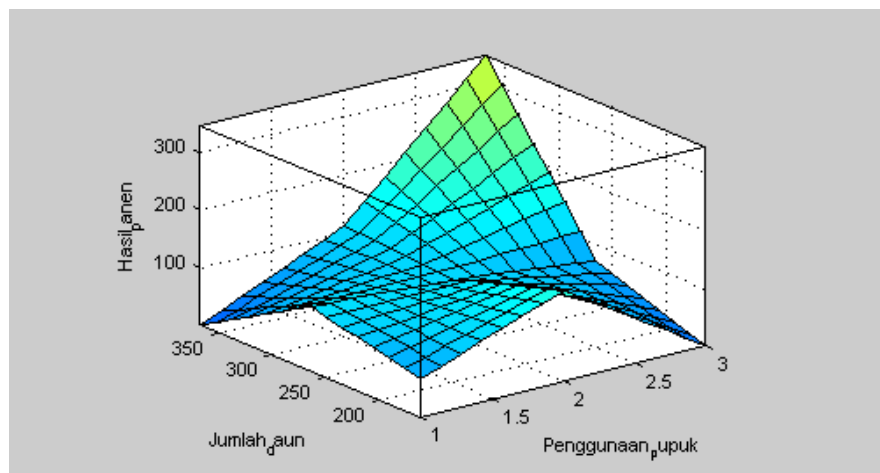
Gambar 14. Pengembangan Rules dengan perlakuan pupuk



Gambar 15. Penampilan grafik 3 dimensi pupuk kandang sapi dengan bobot buah potensial

Pada Gambar 16 terlihat grafik 3 dimensi berdasarkan data input yang dilatih yaitu penggunaan pupuk kotoran sapi dan jumlah daun. Hal ini menunjukkan berdasarkan input penggunaan pupuk nilai puncak terlihat di angka 3 yang berarti penggunaan pupuk kandang sapi dan jumlah daun tetap terlihat di kisaran angka 350 yaitu titik puncak

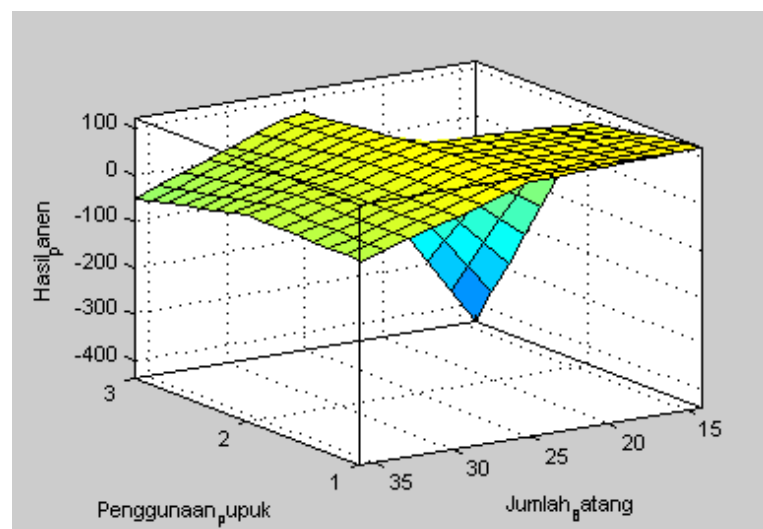
maksimal di grafik maka hal ini dapat menyimpulkan bahwa ketika penggunaan pupuk kandang kotoran sapi dan jumlah daun pada kisaran 300-350 hasil yang diperoleh dapat mencapai 200-300 g. Semakin banyak jumlah daun akan mempengaruhi terhadap pertumbuhan bunga yang berpotensi tumbuhnya buah potensial.



Gambar 16. Penampilan grafik 3 dimensi perlakuan pupuk kandang kotoran sapi dengan jumlah daun

Pada Gambar 17 merupakan grafik output hasil maksimal sachai inci dengan input penggunaan pupuk di angka 3 yang merupakan penggunaan pupuk kotoran hewan sapi dan jumlah batang terlihat di angka 25-30. Hal ini menunjukkan bahwa untuk memperoleh titik puncak hasil perlu melakukan penggunaan pupuk kandang sapi.

Berdasarkan data input yang ditraining penggunaan pupuk kotoran sapi dengan jumlah batang 8000 g. Hal ini menunjukkan hasil yang maksimal. Semakin banyak jumlah batang akan mempengaruhi terhadap pertumbuhan bunga dan daun yang berpotensi tumbuhnya buah potensial.



Gambar 17. Penampilan grafik 3 dimensi perlakuan pupuk kandang kotoran sapi dengan jumlah batang

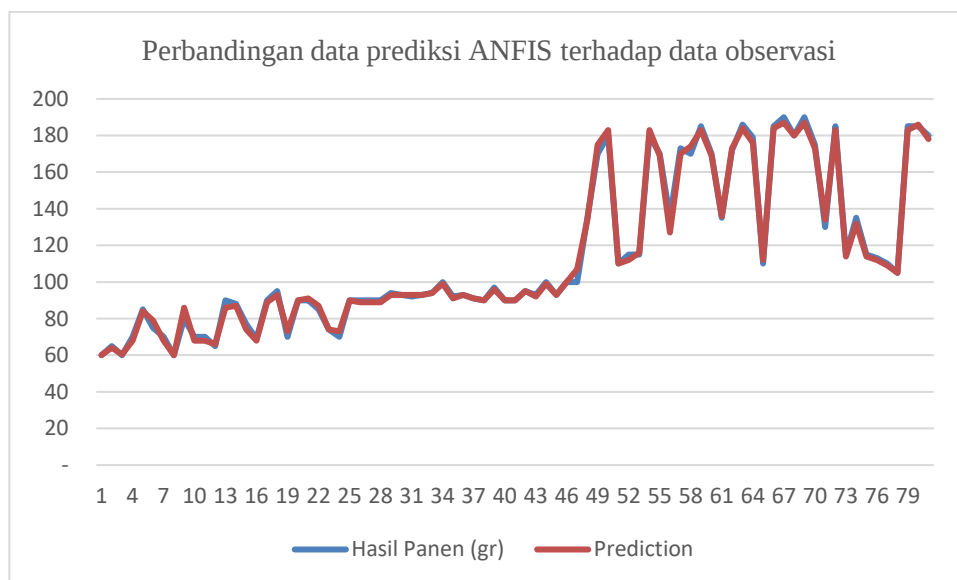
Ketiga gambar grafik di atas (Gambar 15, 16 dan 17) menunjukkan bahwa penggunaan pupuk dari kotoran sapi dapat meningkatkan jumlah daun, jumlah batang dan buah potensial sehingga

mempengaruhi hasil panen dari tanaman sachai inci. Kegiatan pemupukan merupakan hal penting dalam peningkatan hasil panen suatu tanaman termasuk tanaman sachai inci (Hebbar *et al.*, 2014).

Pertumbuhan hasil dan kualitas tanaman dapat dipengaruhi oleh pupuk (Bilalis *et al.*, 2018; Castellanos *et al.*, 2012) dan demikian pula dengan bahan pembuatannya. Dalam penelitian ini didapatkan hasil bahwa pupuk berbahan kotoran sapi lebih maksimal dalam peningkatan hasil dibandingkan dengan pupuk yang berasal dari kotoran ayam dan kambing. Nurdiansyah dkk. (2023) melaporkan bahwa kotoran sapi yang sudah dikomposkan memiliki kandungan hara C organik 67%, nitrogen 4,26%, Fosfat P_2O_5 0,37%, K_2O 2,21% dan C/N rasio 15,7

Hasil analisis metode ANFIS sudah cukup baik dengan nilai RMSE yang dihasilkan sebesar 1,00. Berdasarkan hasil data training yang diinput ke dalam ANFIS didapatkan akurasi prediksi sebesar 96%. Jika dikaitkan ke dalam data input penelitian, hal ini menunjukkan bahwa semua variable yang

dijadikan sebagai data latih ke dalam ANFIS memiliki pengaruh langsung terhadap hasil. Dari analisis ini dapat terlihat bahwa untuk memperoleh hasil panen maksimal tanaman sachu inchi adalah dengan penggunaan pupuk kandang hasil kotoran sapi. Penelitian sebelumnya oleh Wijaya dkk. (2018) yang melakukan prediksi curah hujan di Kabupaten Malang menggunakan metode High Order Fuzzy Time Series Multi Factors diperoleh nilai RMSE sebesar 23,23. Hal ini menunjukkan bahwa metode ANFIS pada penelitian ini sudah lebih baik dibandingkan metode pada penelitian sebelumnya. Gambar 19 berikut merupakan grafik yang menggambarkan lebih jelas perbandingan antara output aktual dengan output hasil prediksi. Terdapat kesesuaian yang cukup tinggi antara hasil aktual dan hasil prediksi yang ditunjukkan oleh model yang dibangun.



Gambar 18. Perbandingan Output Aktual dengan Output Prediksi

SIMPULAN

Hasil analisis perlakuan pupuk dari 3 jenis bahan kotoran hewan yaitu kotoran ayam, kambing, dan sapi menunjukkan perlakuan pupuk dari kotoran hewan sapi yang mempunyai dampak optimal terhadap pertumbuhan sachu inchi. Hal ini ditunjukkan dengan hasil analisis terhadap pertumbuhan dan hasil panen. Nilai optimal yang dihasilkan yaitu terhadap jumlah daun sebesar 200 hingga 300 g, terhadap jumlah batang sebesar 8000 g dan jumlah buah potensial sebesar 500 hingga 900 g dengan akurasi prediksi hasil panen menunjukkan 96%. Implikasi hasil penelitian dapat memberikan kontribusi untuk pemanfaatan pupuk kotoran

hewan sapi dalam peningkatan produktivitas pertumbuhan tanaman sachu inchi, namun harus bersamaan dengan edukasi, promosi kepada semua pihak terkait manfaat dan peluang bisnis produk Sachu inchi dalam penciptaan pasar pengguna.

UCAPAN TERIMA KASIH

Trimakasih diucapkan kepada Kementerian Pendidikan Kebudayaan Riset dan Teknologi Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah Penelitian Bima Skema Penelitian Dasar Fundamental tahun 2023 dan Universitas Majalengka yang telah mendukung serta semua penulis atas kerjasamanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrinusa, TG, A Kurniawan, dan A Zaini. 2020. Internet of Things (IOT) untuk pemantauan dan pengendalian Urban Farming menggunakan metode tanam dalam ruang berbasis wireless sensor network. *Jurnal Teknik ITS*. 9(1): 130-137.
- Ata, R, and Y Kocyigit. 2010. An adaptive neuro fuzzy inference system approach for prediction of tip speed ratio in wind turbines. *Expert System with Applications*. 37: 5454-5460. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.02.068>
- Atman, B, Bakrie, and R Indrasti. 2018. Effect of cow manure dosages as organic fertilizer on the productivity of organic rice in West Sumatra, Indonesia. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*. 3(2):506-511. DOI: <http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/3.2.25>
- Barus, ES, dan Sahputra. 2023. Sistem monitoring pertumbuhan tanaman berbasis internet of things. *Jurnal Ilmu Komputer dan Sistem Infformasi*. 6(1): 1-8.
- Bilalis, D, M Krokida, I Roussis, P Papastylianou, I Travlos, N Cheimona, and A Dede. 2018. Effect of organic and inorganic fertilization on yield and quality of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Folia Horticulturae*. 30(2): 321-332. DOI: 10.2478/fhort-2018-0027
- Bondioli, P, L Foligatti, and P Rovellini. 2020. Oils rich in alpha linolenic acid: chemical composition of *Plukenetia volubilis* seed oil. *Oilseed & Fats Crops and Lipids*. 27: 67. DOI: <https://doi.org/10.1051/ocl/2020066>.
- Cai, ZQ. 2013. Shade delayed flowering and decreased photosynthetic growth and yield of sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) plants. *Industrial Crops and Products*. 34(1): 1235-1237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.03.021>
- Cardenas, DM, LJG Rave, and JA Soto. 2021. Biological activity of sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L) and potential uses in human health: A review. *Food Technology & Biotechnology*. 59 (3): 253-266. DOI: doi:10.17113/ttb.59.03.21.6683.
- Castellanos, EJ, C Tucker, H Eakin, H Morales, JF Barrera, and R Diaz. 2012. Assessing the adaptation strategies of farmers facing multiple stressors: Lessons from the coffee and global changes project in Mesoamerica. *Environmental Science & Policy*. 26: 19-28. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2012.07.003>
- Chen, Z, X Tao, A Khan, DKY Tan, and H Luo. 2018. Biomass accumulation, photosynthetic traits, and root development of cotton as affected by irrigation and nitrogen-fertilization. *Frontiers in Plant Science*. 9: 173. DOI: 10.3389/fpls.2018.00173
- Chirinos, R, G Zuloeta, R Pedreschi, E Mignolet, Y Larondelle, and D Campos. 2013. Sachá inchi (*Plukenetia volubilis*): A seed source of polyunsaturated fatty acids, tocopherols, phytosterols, phenolic compounds and antioxidant capacity. *Food Chemistry*. 141: 1732-1739. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.078>
- Cortina, AR, JR Cortina, and MH Carrion. 2020. Obtention of sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L) seed oil microcapsule as a strategy for the valorization of Amazonian fruits: physicochemical, morphological, and controlled release characterization. *Journal Food*. 11(24): 3950. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods.11.24>
- Dahal, K, K Almejalli, dan MA Hossain. 2013. Decision support for coordinated road traffic control actions. *Decision Support System*. 54: 962-975. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dss.2012.10.022>
- Faisal, T, MN Taib, and F Ibrahim. 2012. Adaptive neuro fuzzy inference system for diagnosis risk in dengue patients. *Expert System with Application*. 39: 4483-4495b. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.09.140
- Fanali, C, L Dugo, F Cacciola, M Beccaria, S Grasso, M Dacha, P Dugo, and L Mondello. 2011. Chemical characterization of sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Journal of Agriculture & Food Chemistry*. 59(24): 13043-13049. DOI: 10.1021/jf203184y
- Gong, HD, YJ Geng, C Yang, DY Jiao, L Chen, and ZQ Cai. 2018. Yield and resource use efficiency of *Plukenetia volubilis* plant at two distinct growth stages as affected by irrigation and fertilization. *Scientific Reports*. 8: 80. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18342-6>

- Gutierrez, LF, LM Rosada, and A Jimenez. 2011. Chemical composition of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L) seeds and characteristics of their lipid fraction. *Grasas Y Aceites Arcives*, 62: 76-83 DOI: <https://doi.org/10.3989/gya044510>
- Hadi, A. 2015. Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) untuk prediksi pembayaran pinjaman berdasarkan rencana pembiayaan nasabah. *Sains dan Teknologi Informasi*. 1(2): 1-9. DOI: 10.33372/stn.v1i2.20
- Hakim, GPN, D Septiyana, A Firdausi, FRI Mariati, dan S. Budianto. 2021. *System Fuzzy. Panduan Lengkap Aplikatif*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Hebbar SS, BK Ramachandrappa, HV Nanjappa, P Mahadevaiah. 2014. Studies on NPK drip fertigation in field grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *European Journal of Agronomy*. 21(1): 117-127. DOI: 10.1016/S1161-0301(03)00091-1
- Iqbal, FM, M Hikmatyar, dan Nasrudin. 2023. Penerapan internet of things pada system deteksi kesuburan tanah. *Jurnal Agro Wiralodra*. 6(1): 14-20.
- Kusumadewi, S, dan S Hartati. 2010. *Neuro-Fuzzy "Integrasi Sistem Fuzzy & Jaringan Syaraf*. Graha Ilmu.
- Li BY, SM Huang, MB Wei, HL Zhang, and AL Shen. 2010. Dynamics of soil and grain micronutrients as affected by long-term fertilization in an aquic Inceptisol. *Pedosphere*. 20: 725-735.
- Li, YK, XZ Xue, WZ Guo, LC Wang, MJ Duan, and H Chen. 2019. Soil moisture and nitrate-nitrogen dynamics and economic yield in the greenhouse cultivation of tomato and cucumber under negative pressure irrigation in the North China Plain. *Scientific Reports*. 9(1): 4439. DOI: 10.1038/s41598-019-38695-4
- Lina, MGC, CEM Huertas, and LF Gutierrez. 2021. Production of sacha inchi oil emulsions by high-shear and high intensity ultrasound emulsification: Physical properties and stability. *Journal of Food Processing and Preservation*. 45(10): DOI: <https://doi.org/10.1111/jtpp.15865>
- Luis FG, LM Rosada, and A Jimenez. 2011. Chemical composition of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L) seeds and characteristics of their lipid fraction. *Grasas y Aceites*. 62(1). DOI: <https://doi.org/10.3989/gya.044510>.
- Maurer, NE, B Hatta-Sakoda, G Pascual-Chagman, and LE Rodriguez-Saona. 2018. Characterization and authentication of a novel vegetable source of omega-3 fatty acids sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L) Oil. *Food Chemistry*. 134(2): 1173-1180. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.02.14
- Medina, MM, R Perez, OE Rojas, VL Torrejon, JAB Fernandez, VG Idrogo, CLS Cayo, and AEM Castro. 2021. Rheological bioactive-properties and sensory preferences of dark chocolates with partial incorporation of sacha inchi oil. *Heliyon*. 7(2). DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e06154e
- Muangrat R., P Veeraphong, and N Chantee. 2018. Screw press extraction of sacha inchi seeds: oil yield and its chemical composition and antioxidant properties. *Journal of Food Processing and Preservation*. 42. e13635. DOI: 10.1111/jfpp.13635
- Kodahl, N. 2020. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L) from lost crop of the incas to part of the solution to global challenges. *Planta Journal*. 251(4): 80. DOI: 10.1007/500425-020-03377-3
- Nurdiansyah, A, A Pribadi, D Suprayogi, and AA Karami. 2023. Quality of cow dung composting fertilizer with additional starter solution of co rumen contents. *Konversi*. 12(1): 19-24. <https://doi.org/10.20527/k.v12i1.14357>
- Ogunwolu, L, O Adedokun, O Orimoloye, and SA Oke. 2011. A neuro-fuzzy approach to vehicular traffic flow prediction for a metropolis in a developing country. *Spring*. 7 (13): 52-66.
- Prasetyo, TF, AF Isdiana, dan H Sujadi. 2019. Implementasi alat pendeteksi kadar air pada bahan pangan berbasis internet of things. *SMARTICS Journal*. 5(2): 81-96. DOI: <https://doi.org/10.21067/smartics.v5i2.3700>
- Noori, R, G Hoshyaripour, K Ashrafi, and BN Araabi. 2010. Uncertainty analysis of developed ANN and ANFIS models in prediction of carbon monoxide daily concentration. *Atmospheric Environment*. 44(4): 476-482. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.11.005>
- Raihana, NA, M Rodzi, and LK Lee. 2022. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L): Recent insight on phytochemistry, pharmacology, organoleptic, safety and toxicity perspectives.

- Heliyon. 8(9): e 10572. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.
- Ramadanti, RA, Nusyirwan, P Ferdias, dan K Nisa. 2023. Penerapan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) menggunakan fungsi keanggotaan Generalized Bell untuk prediksi indeks harga konsumen. Jurnal Sains Matematika dan Statistika. 9(2): 1-20. DOI: <https://dx.doi.org/10.24014/jsms.v9i2.20789>
- Ramos, EF, MT Morales, EM Ramos, AM Munoz, CK Cancino, and AG Asuero. 2020. Assessment of phenolic and volatile compounds of commercial sachá inchi oils and sensory evaluation. Food Research International. 140: 2-50. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.110022. Epub 2020
- Ramos, EF, AM Muñoz, EM Ramos, A Viñas-Ospino, MT Morales, and AG Asuero. 2019. Characterization of commercial Sachá inchi oil according to its composition: Tocopherols, fatty acids, sterols, triterpene and aliphatic alcohols. Journal Food Science Technology. 56: 4503–4515.
- Sanjaya, MWSP. 2016. Panduan Praktis Pemrograman Robot Vision Menggunakan MATLAB dan IDE Arduino. Dalam: Kontrol Robot Cerdas Berbasis ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems). Yogyakarta. pp. 355-357.
- Santika, GD, WF Mahmudy, and A Naba. 2017. Electrical load forecasting using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. International Journal of Advances in Soft Computing and Its Applications. 9(1).
- Saputri, AE, Djarwatiningsih, and Guniarti. 2022. Effect of PGPR and cow manure on growth and yield of purple eggplant (*Solanum melongena* L.). Seminar Nasional Agroteknologi Fakultas Pertanian UPN Veteran, Jawa Timur. <https://doi.org/10.11594/nstp.2022.2006>.
- Supriyanto, S, Z Imran, R Ardiansyah, B Auliyai, A Pratama, and F Kadha. 2022. the effect of cultivation conditions on sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seed production and oil quality (Omega 3, 6, 9). Agronomy. 12. 636.
- Suwapat, K, C Hudthagosol, P Sanporkha, S Sapwarobol, P Temviriyankul, and U Suttisansanee. 2022. Evaluation of sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L) by-products as valuable and sustainable sources of health benefits. Journal Horticulturae. 8(4): 344. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040344>
- Torres, SEG, LB Hernandez, and LF Gutierrez. 2021. Sachá inchi oil press-cake: Physicochemical characteristic, food-related applications and biological activity. Food Reviews International. 5: 148-159. DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1900231>
- Valdiviezo, CJ, R Hidalgo, L Eduardo, B Borneo, and S Michelle. 2019. Characterization of sachá inchi seed oil (*Plukenetia volubilis* L.) from Canton San Vicente, Manabí Ecuador: Obtained by non thermal extrusion processe. La-Granja Cuenca. 30(2): 77-87. DOI:10.17163/igr.n.30.2019.07
- Vicente, J, MG Carvalho, and EE Garcia-Rojas. 2015. Fatty acids profile of sachá inchi oil and blends by IH NMR and GC-FID. Food Chemistry. 181: 215-221. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.02.092
- Wang S, F Zhu, and Y Kakuda. 2018. Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L): Nutritional composition, biological activity and uses. Food Chemistry. 265: 316-328. DOI: 10.1016/J.foodchem.2018.05.055
- Wijaya, AB, C Dewi, dan B Rahayudi. 2018. Peramalan curah hujan menggunakan metode high order fuzzy time series multi factors. Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer. 2(3): 930-939.
- Zhang, MK, and JM Xu. 2005. Restoration of surface soil fertility of an eroded red soil in southern China. Soil & Tillage Research. 80: 13-21. DOI: 10.1016/j.still.2004.02.019