



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**RANCANG BANGUN SISTEM KLASIFIKASI MUTU DAN
ESTIMASI HARGA BIJI KAKAO BERBASIS LOGIKA
FUZZY MENGGUNAKAN SENSOR BERAT
DAN ANALISIS CITRA DIGITAL**

Sub Judul:

**Pengembangan Web Dashboard Berbasis IoT untuk Klasifikasi Mutu
Biji Kakao Menggunakan *Hierarchical Fuzzy System*
Berdasarkan Data Berat dan Analisis Visual**

TUGAS AKHIR

Arfiansyah Putra

2203431037

**PROGRAM STUDI INSTRUMENTASI DAN KONTROL INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2025



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**RANCANG BANGUN SISTEM KLASIFIKASI MUTU DAN
ESTIMASI HARGA BIJI KAKAO BERBASIS LOGIKA
FUZZY MENGGUNAKAN SENSOR BERAT
DAN ANALISIS CITRA DIGITAL**

Sub Judul:

**Pengembangan Web *Dashboard* Berbasis IoT untuk Klasifikasi Mutu
Biji Kakao Menggunakan *Hierarchical Fuzzy System*
Berdasarkan Data Berat dan Analisis Visual.**

TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Sarjana Terapan**

Arfiansyah Putra

2203431037

**PROGRAM STUDI INSTRUMENTASI DAN KONTROL INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2025**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Arfiansyah Putra

NIM : 2203431037

Tanda Tangan :

Tanggal : 15 Juni 2026

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir diajukan oleh :
Nama : Arfiansyah Putra
Nomor Induk Mahasiswa : 2203431037
Program Studi : Instrumentasi dan Kontrol Industri
Judul Tugas Akhir : Pengembangan *Web Dashboard* Berbasis IoT untuk Klasifikasi Mutu Biji Kakao Menggunakan *Hierarchical Fuzzy System* Berdasarkan Data Berat dan Analisis Visual

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada Rabu, 24 Juni 2026 dan dinyatakan **LULUS**.

Pembimbing : Rizdam Firly M., S.Pd., M.T.
NIP. 199311082024061001 (.....)

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Depok, 15 Juli 2026

Disahkan oleh
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Murie Dwiyaniti, S.T., M.T.

NIP. 197803312003122002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengembangan Web Dashboard Berbasis IoT untuk Klasifikasi Mutu Biji Kakao Menggunakan Hierarchical Fuzzy System Berdasarkan Data Berat dan Analisis Visual”** ini dapat diselesaikan dengan baik sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan mencapai gelar Sarjana Terapan di Politeknik Negeri Jakarta.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan perjalanan ini tidak lepas dari dukungan luar biasa berbagai pihak. Dengan segala ketulusan hati, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Pak Rizdam Firly M., S.Pd., M.T. dan Bu Yurixa Sakhinatul Putri, S.Si., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah mengorbankan waktu, tenaga, pikiran, serta memberikan bimbingan teknis luar biasa demi kesempurnaan alat dan laporan penelitian ini.
2. Kedua orang tua penulis, Bapak Sudiyo dan Ibu Warjiyah, yang selalu menjadi pemberi dukungan terbesar melalui doa yang tiada putus, kasih sayang, serta pengorbanan materiil yang luar biasa hingga penulis bisa menyelesaikan studi ini.
3. Doufan Agmarila Fitcor, selaku rekan kelompok Tugas Akhir. Terima kasih atas kerja sama hebatnya dan perjuangan bersama dari awal yang melelahkan hingga akhirnya alat ini dapat berfungsi dengan baik dan laporan ini selesai.
4. Teman-teman IKI B angkatan 2022, teman seperjuangan yang luar biasa dari awal masuk kuliah. Terima kasih telah saling mendukung dan saling membantu hingga akhir penyelesaian studi ini.

Akhir kata, penulis percaya Allah SWT pasti membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi para pembaca dan perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 15 Juni 2026

Arfiansyah Putra



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pengembangan *Web Dashboard* Berbasis IoT untuk Klasifikasi Mutu Biji Kakao
Menggunakan *Hierarchical Fuzzy System* Berdasarkan
Data Berat dan Analisis Visual

Abstrak

Sekitar 86% biji kakao rakyat di Indonesia bermutu rendah akibat inkonsistensi ukuran, kontaminasi jamur, dan maraknya penjualan tanpa fermentasi. Kondisi ini diperparah oleh rantai perdagangan informal yang mengandalkan penilaian visual manual, sehingga memicu subjektivitas dan penentuan harga sepihak yang merugikan petani. Penelitian ini bertujuan membangun *Smart Cocoa Grading Scale*, instrumen timbangan pintar portabel berbasis penggabungan data multivariat untuk mengotomatisasi pengujian mutu fisik luar kakao sesuai SNI 2323:2008. Perangkat keras mengintegrasikan sensor *load cell* berbasis ESP8266 dan kamera berbasis Raspberry Pi 4B dengan model YOLOv8. Metode *Hierarchical Fuzzy System* (HFS) dua tingkat diterapkan untuk klasifikasi mutu dengan memprioritaskan parameter cacat visual sebelum digabungkan dengan *bean count*. Estimasi harga jual dirumuskan secara dinamis menggunakan interpolasi linear kontinu, yang disajikan secara *real-time* via *Websocket* melalui *dashboard* web React 19 dan FastAPI pada layar sentuh alat. Hasil pengujian menunjukkan sensor berat memiliki akurasi 99,89% dengan *error* relatif 0,11%. Validasi keputusan HFS antara kalkulasi manual berbasis integral dan program menghasilkan kesesuaian mutlak 100% identik pada seluruh klasifikasi kelas mutu, dengan deviasi numerik tertinggi pada Skor Mutu sebesar 0,12 (0,15%) dan selisih estimasi harga maksimum sebesar Rp35 (0,20%). Karakteristik defuzzifikasi *Centroid* secara alami menahan batas bawah Skor Mutu pada kisaran 13,3, memberikan batasan harga bawah otomatis (*scrap value*) untuk melindungi posisi tawar petani. Sistem ini berhasil membuktikan konsep *screening* cepat yang objektif, transparan, dan informatif di tingkat hulu.

Kata Kunci: Biji Kakao, Sistem Hieararki *Fuzzy*, SNI 2323:2008, Timbangan, YOLOv8-seg-m.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

*Development of an IoT-Based Web Dashboard for Cocoa Bean Quality
Classification Using a Hierarchical Fuzzy System
Based on Weight Data and Visual Analysis*

Abstract

Around 86% of smallholder cocoa beans in Indonesia are of low quality due to size inconsistency, mold contamination, and the widespread sale of unfermented beans. This condition is exacerbated by informal trade chains that rely on manual visual assessment, triggering subjectivity and unilateral pricing that disadvantages farmers. This research aims to develop the Smart Cocoa Grading Scale, a portable smart weighing instrument based on multivariate data fusion to automate the external physical quality testing of cocoa in accordance with SNI 2323:2008. The hardware integrates an ESP8266-based load cell sensor and a Raspberry Pi 4B-based camera with the YOLOv8 model. A two-level Hierarchical Fuzzy System (HFS) method is applied for quality classification by prioritizing visual defect parameters before combining them with the bean count. The selling price estimation is dynamically formulated using continuous linear interpolation, presented in real-time via Websocket through a React 19 and FastAPI web dashboard interface on the device's touchscreen. Testing results show that the weight sensor has an accuracy of 99.89% with a relative error of 0.11%. Validation of HFS decisions between manual integral-based calculations and the program yielded an absolute 100% identical match on all quality grade classifications, with the highest numerical deviation in the Quality Score of only 0.12 (0.15%) and a maximum price estimation difference of Rp35 (0.20%). The characteristics of Centroid defuzzification naturally maintain the lower bound of the Quality Score in the range of 13.3, providing an automatic lower price limit (scrap value) to protect farmers' bargaining position. This system successfully demonstrates an objective, transparent, and informative rapid screening concept at the upstream level.

Keywords: Cocoa Beans, Hierarchical Fuzzy System, SNI 2323:2008, Smart Scale, YOLOv8-seg-m.



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR	iv
<i>Abstrak</i>	v
<i>Abstract</i>	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Luaran Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>State of The Art</i> Penelitian	5
2.2 Tanaman Kakao (<i>Theobroma Cacao L.</i>)	9
2.2.1 Klasifikasi Tanaman Kakao	9
2.2.2 Tahapan Proses Pasca Panen Biji Kakao	10
2.2.3 Standardisasi Mutu Biji Kakao	14
2.2.4 Penentuan Ukuran Biji (<i>Bean Count</i>)	15
2.3 Perangkat Keras	16
2.3.1 Mikrokontroler ESP8266	16
2.3.2 <i>Single Board Computer</i> (SBC) Raspberry Pi 4B	17
2.3.3 <i>Sensor Load Cell</i>	18
2.3.4 Modul HX711	19
2.3.5 <i>Switching Power Supply</i> 5V/5A	20
2.3.6 Modul Kamera Arducam 8 MP IMX219	21
2.3.7 <i>LCD Touchscreen</i> 7 Inch Official Raspberry Pi	22
2.3.8 Steker Saklar	23
2.4 Kecerdasan Buatan dan Inferensi Sistem	24
2.4.1 <i>Deep Learning</i>	24
2.4.2 <i>You Only Look Once</i> (YOLO)	25
2.4.3 <i>Hierarchical Fuzzy System</i>	26
2.5 Protokol Komunikasi (MQTT & <i>Websocket</i>)	28
2.5.1 MQTT	28
2.5.2 <i>Websocket</i>	29
2.6 Lingkungan <i>Website</i> (FastAPI 3 & React 19)	30
2.6.1 FastAPI	31
2.6.2 React 19	32
BAB III PERENCANAAN DAN REALISASI	33
3.1 Perancangan Alat	33
3.1.1 Deskripsi Alat	34

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.1.2	Cara Kerja Alat	35
3.1.3	Spesifikasi Alat	39
3.1.4	Diagram Blok	40
3.1.5	<i>Wiring Diagram</i>	42
3.2	Perancangan <i>Software</i>	44
3.2.1	Arsitektur Diagram	45
3.2.2	Perancangan <i>Hierarchical Fuzzy System</i>	49
3.3	Realisasi Alat dan Sistem	62
3.3.1	Realisasi Perangkat Keras (<i>Hardware</i>):	62
3.3.2	Realisasi Antarmuka <i>Website (Dashboard)</i> :	63
BAB IV	PEMBAHASAN	71
4.1	Pengujian I: Kalibrasi <i>Load Cell</i> dengan Beban Standar	71
4.1.1	Deskripsi Pengujian	71
4.1.2	Prosedur Pengujian	71
4.1.3	Data Hasil Pengujian	72
4.1.4	Analisis Data Hasil Pengujian	73
4.2	Pengujian II: Verifikasi Sistem <i>Hierarchical Fuzzy System</i>	74
4.2.1	Deskripsi Pengujian	74
4.2.2	Prosedur Pengujian	74
4.2.3	Pengujian Kasus I – Mutu I	75
4.2.4	Pengujian Kasus 2 – Mutu II	86
4.2.5	Pengujian Kasus 3 – Mutu III	94
4.2.6	Data Hasil Pengujian	102
4.2.7	Analisis Data Hasil Pengujian	103
4.3	Pengujian III: <i>Black Box Testing</i> pada <i>Website</i>	105
4.3.1	Deskripsi Pengujian	105
4.3.2	Prosedur Pengujian	105
4.3.3	Data Hasil Pengujian	105
4.3.4	Evaluasi Hasil Pengujian	109
BAB V	PENUTUP	110
5.1	Kesimpulan	110
5.2	Saran	111
DAFTAR PUSTAKA		112
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		117
Lampiran 1.	Kode Program Sistem Inferensi <i>Fuzzy Hiearkis (HFS)</i>	118
Lampiran 2.	Kode Program MQTT <i>Load Cell</i>	125
Lampiran 3.	Kode Program Kalibrasi <i>Load Cell</i>	131



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan dengan penelitian terdahulu.....	5
Tabel 2.2 Syarat khusus standar mutu biji kakao	14
Tabel 2.3 Klasifikasi Ukuran <i>Bean Count</i> SNI 2323:2008	15
Tabel 3.1 Spesifikasi Sistem <i>Smart Cocoa Grading Scale</i>	39
Tabel 3.2 Daftar variabel input output Blok 1 – Evaluasi Cacat Visual	50
Tabel 3.3 Fungsi keanggotaan variabel input Blok 1 – kelompok 1	51
Tabel 3.4 Fungsi keanggotaan variabel input Blok 1 – kelompok 2	51
Tabel 3.5 Fungsi keanggotaan variabel input Blok 1 – kelompok 3	52
Tabel 3.6 Perbandingan hasil uji skor cacat terhadap kelompok input	54
Tabel 3.7 Fungsi keanggotaan variabel konsekuen Skor Cacat	54
Tabel 3.8 Basis aturan Blok 1 – Evaluasi Cacat Visual	55
Tabel 3.9 Daftar variabel input output Blok 2 – penentuan mutu akhir.....	56
Tabel 3.10 Fungsi keanggotaan variabel <i>Bean Count</i>	57
Tabel 3.11 Fungsi keanggotaan variabel Skor Mutu	57
Tabel 3.12 Basis aturan Blok 2 – Penentuan Mutu Akhir	58
Tabel 3.13 Contoh perhitungan estimasi harga	61
Tabel 3.14 Keterangan Komponen Realisasi Perangkat Keras	62
Tabel 4.1 Ringkasan statistik hasil pengujian kalibrasi load cell	72
Tabel 4.2 Data input pengujian kasus 1	75
Tabel 4.3 Hasil pra-pemrosesan data input kasus I	75
Tabel 4.4 Derajat keanggotaan input Blok 1 – Kasus 1	76
Tabel 4.5 Aktivasi Aturan <i>Fuzzy</i> Blok 1 – Kasus 1	77
Tabel 4.6 Ringkasan titik potong daerah solusi Skor Cacat – Blok 1	78
Tabel 4.7 Derajat Keanggotaan Input Blok 2 - Kasus 1	81
Tabel 4.8 Aktivasi Aturan <i>Fuzzy</i> Blok 2 – Kasus 1	81
Tabel 4.9 Ringkasan titik potong daerah solusi Skor Mutu – Blok 2	82
Tabel 4.10 Data Input Pengujian Kasus 2	86
Tabel 4.11 Hasil pra-pemrosesan data input kasus 2	86
Tabel 4.12 Derajat keanggotaan input Blok 1 – Kasus 2	87
Tabel 4.13 Aktivasi Aturan <i>Fuzzy</i> Blok 1 – Kasus 2	87
Tabel 4.14 Ringkasan titik potong daerah solusi Skor Cacat – Blok 1	88
Tabel 4.15 Derajat keanggotaan input Blok 2 – Kasus 2	90
Tabel 4.16 Aktivasi Aturan <i>Fuzzy</i> Blok 2 – Kasus 2	90
Tabel 4.17 Ringkasan titik potong daerah solusi Skor Mutu – Blok 2	91
Tabel 4.18 Data Input Pengujian Kasus 3	94
Tabel 4.19 Hasil pra-pemrosesan data input – Kasus 3.....	94
Tabel 4.20 Derajat keanggotaan input Blok 1 – Kasus 3	95
Tabel 4.21 Aktivasi Aturan <i>Fuzzy</i> Blok 1 – Kasus 3	95
Tabel 4.22 Ringkasan titik potong daerah solusi Skor Cacat – Blok 1	96
Tabel 4.23 Derajat keanggotaan input blok 2 - Kasus 3.....	99
Tabel 4.24 Aktivasi aturan <i>fuzzy</i> Blok 2 - Kasus 3	99
Tabel 4.25 Ringkasan titik potong daerah solusi Skor Mutu – Blok 2	100
Tabel 4.26 Ringkasan hasil pengujian sistem <i>fuzzy</i> ketiga kasus.....	102
Tabel 4.27 Perbandingan hasil perhitungan manual dengan output program	103
Tabel 4.28 Rangkuman hasil pengujian black box antarmuka sistem	105

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis-jenis buah kakao	10
Gambar 2.2 Diagram alir pengolahan Biji Kakao	11
Gambar 2.3 Biji kakao basah difermentasi	12
Gambar 2.4 Biji kakao kering hasil pengolahan	13
Gambar 2.5 NodeMCU ESP8266	16
Gambar 2.6 Raspberry Pi 4B	17
Gambar 2.7 Mekanisme kerja load cell	18
Gambar 2.8 Jembatan Wheatstone untuk Strain Gauge	18
Gambar 2.9 Wiring pin ESP8266 dengan modul sensor dan load cell	19
Gambar 2.10 Power supply 5V/5A	20
Gambar 2.11 Arducam 8MP IMX219	21
Gambar 2.12 Kit display 7 inch official Raspberry Pi	22
Gambar 2.13 Steker saklar Broco	23
Gambar 2.14 Ilustrasi alur pemrosesan CNN pada biji kakao	24
Gambar 2.15 Ilustrasi mekanisme deteksi YOLO	25
Gambar 2.16 Contoh arsitektur Hierarchical Fuzzy System dengan n input	26
Gambar 2.17 Struktur Hierarchical Fuzzy System	27
Gambar 2.18 Arsitektur Publish/Subscribe pada protokol MQTT	28
Gambar 2.19 Perbandingan pola komunikasi HTTP polling dan Websocket	30
Gambar 2.20 Arsitektur client-server sistem berbasis FastAPI dan React	31
Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian	33
Gambar 3.2 Diagram alir cara kerja alat	35
Gambar 3.3 Blok diagram sistem	40
Gambar 3.4 Wiring diagram sistem	42
Gambar 3.5 Arsitektur Sistem Perangkat Lunak	45
Gambar 3.6 Arsitektur Hierarchical Fuzzy pada sistem grading biji kakao	49
Gambar 3.7 Fungsi keanggotaan variabel input Blok 1 tiap kelompok	52
Gambar 3.8 Pengujian predikat fuzzy tiap kelompok variabel input blok 1	53
Gambar 3.9 Pengujian predikat fuzzy tiap kelompok variabel input blok 1	53
Gambar 3.10 Fungsi keanggotaan variabel anteseden dan konsekuen Skor Cacat	55
Gambar 3.11 Fungsi keanggotaan variabel input dan output Blok 2	57
Gambar 3.12 Kurva estimasi harga kontinu berdasarkan skor_mutu	60
Gambar 3.13 Realisasi Alat Timbangan Pintar	62
Gambar 3.14 Halaman Login Operator	63
Gambar 3.15 Halaman Pendaftaran Operator Baru	64
Gambar 3.16 Tampilan Awal Halaman <i>Dashboard</i> Utama	65
Gambar 3.17 Tampilan Halaman <i>Dashboard</i> Setelah Pengujian Selesai	67
Gambar 3.18 Tampilan Halaman History Transaksi	68
Gambar 3.19 Tampilan Halaman History dengan Tombol Hapus Data	68
Gambar 3.20 Tampilan Jendela Pop Up Detail Transaksi	69
Gambar 3.21 Tampilan Dialog Konfirmasi Penghapusan Data	69
Gambar 3.22 Tampilan Halaman Pengaturan Harga	70
Gambar 4.1 Grafik Regresi Linearitas Kalibrasi Sensor Berat (<i>Load Cell</i>)	73
Gambar 4.2 Grafik Hasil Agregasi dan <i>Centroid</i> Skor Cacat Kasus 1	80

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.3 Grafik Hasil Agregasi dan Centroid Skor Mutu Kasus 1	84
Gambar 4.4 Grafik Hasil Agregasi dan Centroid Skor Cacat Kasus 2	89
Gambar 4.5 Grafik Hasil Agregasi dan Centroid Skor Mutu Kasus 2	92
Gambar 4.6 Grafik Hasil Agregasi dan Centroid Skor Cacat Kasus 3	98
Gambar 4.7 Grafik Hasil Agregasi dan Centroid Skor Mutu Kasus 3	101



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data FAO 2023, Indonesia menempati peringkat ketiga sebagai produsen kakao terbesar dunia dengan kontribusi 11,46% atau setara dengan 641,74 ribu ton, di bawah Pantai Gading (2,38 juta ton) dan Ghana (653,49 ribu ton) (Kementerian Pertanian, 2025). Pada tahun 2024, luas perkebunan kakao nasional mencapai 1,37 juta hektare dengan produksi 617,11 ribu ton biji kakao kering, dan sebanyak 99,59% lahan tersebut yaitu oleh perkebunan rakyat (Direktorat Statistik TPHP, 2025). yang berarti jutaan petani skala kecil menjadi tulang punggung komoditas ini.

Kakao termasuk komoditas strategis nasional, kakao menyerap banyak tenaga kerja dan menghasilkan devisa (Amalia dkk., 2024). Namun di sektor hulu, industri dalam negeri bergantung pada pasokan impor karena produksi lokal tidak mencukupi. Ketimpangan ini terlihat pada struktur perdagangannya. Indonesia mengekspor produk olahan seperti mentega dan lemak kakao dalam jumlah besar—lebih dari 64% total ekspor kakao—sementara ekspor biji kakao mentah hanya 3,08%. Di sisi impor, biji kakao mendominasi dengan 75,22% atau US\$1,09 miliar (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, 2024), untuk memenuhi kebutuhan industri pengolahan domestik. Kesenjangan ini menunjukkan masalah produktivitas di tingkat petani.

Kualitas biji kakao Indonesia secara umum masih rendah dan tidak konsisten. Sekitar 86% biji kakao yang dihasilkan tergolong bermutu rendah (Info Literasi Pertanian, 2025). Hanya sekitar 10% biji kakao yang difermentasi dengan baik, sementara mayoritas petani menjual biji kering tanpa fermentasi, yang menyebabkan mutu produk kurang diminati pasar premium seperti Eropa (Anggraeni, 2025). Masalah utama terletak pada inkonsistensi mutu, kontaminasi jamur, serangan hama gudang, serta ketidakseragaman ukuran biji. Kondisi ini berdampak pada harga jual yang stagnan dan hilangnya nilai tambah ke negara lain, meskipun Indonesia memiliki potensi besar sebagai produsen kakao (Fahrurrozi dkk., 2020).



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Untuk mengatasi persoalan ini, Pemerintah Indonesia menetapkan SNI 2323:2008 tentang Biji Kakao sebagai standar mutu resmi yang wajib dipenuhi dalam setiap transaksi perdagangan sejak tahun 2011. Standar ini mengklasifikasikan biji kakao ke dalam lima tingkat mutu berdasarkan parameter *bean count*, yaitu jumlah biji per 100 gram: Mutu AA (maks. 85 biji), Mutu A (86–100 biji), Mutu B (101–110 biji), Mutu C (111–120 biji), dan Mutu S (lebih dari 120 biji) (SNI 2323:2008: Biji Kakao, 2008). Standar ini juga menetapkan batas toleransi cacat fisik seperti biji pecah, biji berjamur, dan kontaminan asing, agar penentuan harga berlangsung secara objektif bagi petani maupun pembeli.

Namun praktik di lapangan, terutama pada rantai perdagangan informal, SNI 2323:2008 jarang diterapkan. Penentuan mutu masih dilakukan secara manual melalui pengamatan visual tanpa alat ukur yang baku. Cara ini sangat rentan terhadap subjektivitas, penilaian berubah tergantung kelelahan penilai dan inkonsistensi antarsesi (Amarta, t.t.). Akibatnya, nilai dan harga biji kakao sering ditentukan secara sepihak oleh pengepul, yang menempatkan petani pada posisi tawar yang lemah (Bahri dkk., 2021).

Di sisi teknologi, industri pengolahan skala besar sudah menggunakan mesin sortasi otomatis berbasis *conveyor belt* (WESORT, 2025). Perangkat ini membutuhkan investasi besar, ruang luas, dan daya tinggi, sehingga tidak terjangkau bagi kelompok tani mandiri. Timbangan digital dan pemindai citra yang tersedia di pasaran belum terintegrasi ke dalam satu sistem pengambilan keputusan. Kalkulasi mutu gabungan yang mencakup penghitungan jumlah biji dan penilaian cacat fisik masih harus dikerjakan manual, yang memakan waktu dan rentan kesalahan (Amarta, t.t.).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Merespons dari permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan timbangan pintar portabel (*Smart Scale*) dengan modul kamera dan layar sentuh untuk penilaian mutu di lapangan. Sensor *load cell* yang dikendalikan ESP8266 membaca berat sampel biji kakao, lalu mengirim data ke Raspberry Pi sebagai komputer pemroses utama sekaligus web server lokal. Kamera yang terpasang di atas nampan menangkap citra sampel, kemudian YOLOv8-seg-m menghitung jumlah biji (*bean count*) dan mendeteksi persentase cacat visual luar. *Hierarchical Fuzzy System* memproses seluruh data hasil pengukuran berat dan analisis gambar dengan prioritas pengetatan pada parameter biji cacat, lalu Pendekatan Kontinu mengonversi hasilnya menjadi estimasi harga. Lewat layar sentuh, pengguna mengontrol proses penimbangan, melihat visualisasi kualitas, dan memantau klasifikasi mutu, kalkulasi harga, serta riwayat transaksi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini disusun sebagai berikut:

1. Bagaimana mengintegrasikan data sensor berat dan data visual YOLOv8 secara simultan ke dalam satu sistem pemrosesan?
2. Bagaimana merancang *Hierarchical Fuzzy System* untuk memprioritaskan pengetatan parameter biji cacat fisik luar dalam menentukan klasifikasi mutu?
3. Bagaimana merumuskan kalkulasi estimasi harga menggunakan Pendekatan Kontinu berdasarkan kelas mutu hasil inferensi *fuzzy*?
4. Bagaimana menyajikan seluruh informasi penilaian mutu dan estimasi harga secara transparan dan informatif melalui antarmuka *dashboard* berbasis web?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Membangun sistem integrasi data yang mampu menyatukan parameter berat aktual dan informasi visual secara *real-time*.
2. Mengimplementasikan algoritma *Hierarchical Fuzzy System* sebagai sistem pendukung keputusan (*Decision Support System*) untuk mengklasifikasikan kelas mutu biji kakao secara objektif.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem timbangan pintar portabel (*Smart Scale*) yang mengintegrasikan sensor berat dan analisis citra digital pada Raspberry Pi sebagai instrumen penilaian mutu biji kakao yang objektif dan transparan. Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Perangkat lunak yang dibuat telah berhasil mengintegrasikan data sensor berat dan data visual secara *real-time* lewat arsitektur *client-server* (*React 19*, *FastAPI*, dan *MySQL*). Pemrograman asinkron (*async/await*) pada *FastAPI* memungkinkan akuisisi berat dan akuisisi citra berjalan secara konkuren tanpa saling memblokir, dengan mekanisme sinkronisasi yang memastikan inferensi *fuzzy* hanya dieksekusi setelah kedua data tersedia secara lengkap dalam satu sesi pengukuran.
2. Pengujian karakteristik sensor *load cell* menunjukkan keandalan yang sangat tinggi dengan persamaan regresi $y = 0,999x - 0,0318$ dan koefisien determinasi $R^2 = 1$. Sensor ini memiliki rata-rata akurasi mencapai 99,89% dengan rata-rata *error relative* total hanya sebesar 0,11% pada rentang beban sampel 0–200 gram.
3. Algoritma *Hierarchical Fuzzy System* (HFS) dua tingkat sukses diimplementasikan untuk memprioritaskan pengetatan parameter cacat visual (Blok 1) sebelum digabungkan dengan parameter ukuran biji (Blok 2). Pengujian validasi keputusan mutu antara kalkulasi manual berbasis integral dan komputasi *library skfuzzy* menghasilkan kesesuaian mutlak 100% identik pada seluruh keputusan klasifikasi kelas mutu SNI. Deviasi numerik tertinggi pada Skor Mutu hanya sebesar 0,12 (0,15%) dan selisih estimasi harga maksimum sebesar Rp35 (0,20%), seluruhnya bersumber dari perbedaan teknis antara metode integral kontinu dan pendekatan numerik diskret pada *skfuzzy*, dan berada jauh di bawah batas toleransi .



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4. Penerapan formula Pendekatan Kontinu untuk penentuan estimasi harga menggunakan interpolasi linear berhasil menghasilkan nilai taksiran harga jual yang bergerak halus dan proporsional. Secara sistemis, karakteristik defuzzifikasi *Centroid* pada kurva Mutu III secara alami menahan nilai batas bawah Skor Mutu pada kisaran 16,66, sehingga memberikan batasan harga bawah otomatis secara asimetris (tidak menyentuh Rp0) yang merepresentasikan realitas nilai sisa pasar (*scrap value*) komoditas.
5. Pengujian *Black Box* membuktikan seluruh tombol kontrol, status konektivitas IoT (Wi-Fi dan MQTT), filter riwayat transaksi, dan sinkronisasi basis data berjalan valid. Sistem juga sukses menerapkan pembatasan alur kerja (*procedural workflow locking*), di mana tombol "Analisis Kualitas" dikunci secara ketat dan baru aktif setelah data berat terkunci serta citra visual selesai dianalisis.

5.2 Saran

Berdasarkan batasan perangkat keras dan proses evaluasi yang dilakukan selama penelitian, saran yang dapat diajukan untuk pengembangan sistem selanjutnya adalah:

1. Optimasi Komputasi untuk Sistem Mandiri: Mengingat keterbatasan spesifikasi teknis GPU pada Raspberry Pi 4B dalam menangani beban kerja pemrosesan algoritma *deep learning* yang intensif, proses inferensi model YOLOv8 pada penelitian ini masih dialihkan ke unit pemroses eksternal (laptop). Oleh karena itu, pengembangan berikutnya disarankan untuk melakukan kompresi arsitektur model menggunakan varian yang jauh lebih ringan seperti *YOLOv8-nano* atau melakukan konversi format model ke *TensorRT / OpenVINO*. Langkah optimasi ini penting agar seluruh eksekusi visi komputer, *server* kamera, pialang pesan MQTT Mosquitto, dan basis data dapat berjalan sepenuhnya secara mandiri (*full standalone*) di dalam satu perangkat SBC tanpa memerlukan bantuan komputer eksternal.



DAFTAR PUSTAKA

- Ahamed, N. (2023, April 30). *Convolutional Neural Networks*. Dev Genius. <https://blog.devgenius.io/convolutional-neural-networks-98e2067072a9>
- Allelco. (2024, Juli 18). *How to set up and calibrate load cells with the HX711?* <https://www.allelcoelec.com/blog/how-to-set-up-and-calibrate-load-cells-with-the-hx711.html>
- Amalia, L., Sondari, N., Noertjahyani, Budiasih, R., Turmuktini, T., & Indriana, K. R. (2024). *Kakao Kokoa* (A. N. Ihwati, Ed.; 1 ed.). EUREKA MEDIA AKSARA,.
- Amarta. (t.t.). Pengaturan Mutu Biji Kakao Oleh Petani. *Amarta*. Diambil 3 Juni 2026, dari <https://www.scribd.com/doc/248947232/Pengaturan-Mutu-Biji-Kakao-Oleh-Petani-AMARTA>
- Anggraeni, R. (2025, Oktober 24). *RI Cuan Tipis dari Biji Kakao: Kualitas Rendah, Nilai Tambah Kabur ke Negara Lain*. Bisnis.com. <https://ekonomi.bisnis.com/read/20251024/99/1923094/ri-cuan-tipis-dari-biji-kakao-kualitas-rendah-nilai-tambah-kabur-ke-negara-lain>
- Arducam Technology Co., Ltd. (2024). *Arducam 8MP IMX219 Camera Module for Raspberry Pi (B0394)*. Arducam. <https://www.arducam.com/8mp-imx219-camera-module-for-raspberry-pi-b0394.html>
- Bahri, S., Masuku, M. A., & Salim, A. (2021). Karakteristik Biji Kakao Kering (*Theobroma cacao* L) Hasil Perkebunan Petani Kakao di Kecamatan Oba, Kota Tidore Kepulauan. *Cannarium: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 19(1).
- Baihaqi, Hayati, R., & Abubakar, Y. (2016). Pengaruh Fasilitator Fermentasi dan Suhu Pengaruh Pengeringan Terhadap Kualitas Biji Kakao. *Jurnal Floratek*, 11(2), 134–142.
- Banks, A., & Gupta, R. (2014, Oktober 27). *MQTT version 3.1.1. OASIS Standard*. <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.html>
- Bulandari, S. (2016). *Pengaruh Produksi Kakao terhadap Pertumbuhan Ekonomi di Kabupaten Kolaka Utara*. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, Fakultas Ekonomi dan Bisnis Islam, Jurusan Ilmu Ekonomi.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- ChristopherGS. (2022, Februari 2). *Ultimate FastAPI Tutorial Part 12*.
<https://christophergs.com/>. <https://christophergs.com/tutorials/ultimate-fastapi-tutorial-pt-12-react-js-frontend/>
- Cokelatin. (2023, Juni). *Mengenal Perbedaan Coklat Criollo, Forastero, dan Trinitario*. <https://cokelatin.id/en/blog/perbedaan-coklat-criollo-forastero-dan-trinitario/>
- Direktorat Statistik TPHP. (2025). *Statistik Tanaman Perkebunan Tahunan Indonesia 2024* (1 ed.). Badan Pusat Statistik.
- Durve, M., Bonaccorso, F., Montessori, A., Lauricella, M., Tiribocchi, A., & Succi, S. (2021). Tracking droplets in soft granular flows with deep learning techniques. *The European Physical Journal Plus*, 136. <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-021-01849-3>
- Espressif Systems. (2025). *ESP8266EX datasheet (Ver. 7.1)*. Espressif Systems. https://documentation.espressif.com/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
- Fahrurrozi, Lisdiyanti, P., Ratnakomala, S., Fauziyyah, S., & Sari, M. N. (2020). *Teknologi Fermentasi dan Pengolahan Biji Kakao*. LIPI Press.
- FastAPI. (2023). *FastAPI*. <https://fastapi.tiangolo.com/>
- Fette, I., & Melnikov, A. (2011). The *Websocket* Protocol. *RFC*. <https://doi.org/10.17487/rfc6455>
- Fikri, M. K., Adriman, R., Roslidar, R., & Syahrial, S. (2025). Detection of Dry and Wet Cocoa Beans to Improve Quality Using Convolutional Neural Network-based You Only Look Once Architecture. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 14(1), 24–31. <https://doi.org/10.25077/jnte.v14n1.1178.2025>
- Fisika Veritas. (2014). *Aplikasi Jembatan Wheatstone pada Sensor Resistif*. Blogspot (fisikaveritas.blogspot.com). <https://fisikaveritas.blogspot.com/2014/01/aplikasi-jembatan-wheatstone-pada.html>
- Forouzan, B. A. (2012). *Data Communications and Networking* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Foundation, R. P. (2024). *DATASHEET Raspberry Pi 4 Model B Release 1.1*. Raspberry Pi Foundation. <https://pip-assets.raspberrypi.com/categories/545->



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

raspberry-pi-4-model-b/documents/RP-008341-DS-1-raspberry-pi-4-datasheet.pdf

Hatmi, R. U., & Rustijarno, S. (2012). *Teknologi Pengolahan Biji Kakao Menuju SNI Biji Kakao 01-2323-2008*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Yogyakarta.

Heaton, J., Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2017). Deep learning. *Genetic Programming and Evolvable Machines*, 19, 305–307. <https://doi.org/10.1007/s10710-017-9314-z>

Hunkeler, U., Truong, H. L., & Stanford-Clark, A. (2008). MQTT-S — A publish/subscribe protocol for Wireless Sensor Networks. *IEEE Xplore*, 791–798. <https://doi.org/10.1109/COMSWA.2008.4554519>

Inc., V. S. (2022, April 5). *Article by Vibra Screw Inc.: Process Weighing and Gravimetric Control Technology ... Is it new or old?* <https://www.weighingreview.com/article/article-by-vibra-screw-inc-process-weighing-and-gravimetric-control-technology-is-it-new-or-old>

Info Literasi Pertanian. (2025, Maret 26). *Info Literasi: Tingkatkan Kualitas Biji Kakao dengan Fermentasi*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia. <https://pustaka.bppsdp.pertanian.go.id/info-literasi/info-literasi-tingkatkan-kualitas-biji-kakao-dengan-fermentasi>

Jocher, G., Chaurasia, A., & Qiu, J. (2023). *Ultralytics YOLOv8*. Ultralytics. <https://github.com/ultralytics/ultralytics>

Jumalis, M. (2023). Implementasi Algoritma Fuzzy Tsukamoto dalam Penentuan Biji Kakao yang Berkualitas. *Jurnal INSTEK (Informatika Sains dan Teknologi)*, 8(2), 2023.

Kementerian Pertanian. (2025). Negara Sentral Luas Areal Tanaman Menghasilkan dan Produksi Kakao Dunia. Dalam *Outlook Komoditas Perkebunan Kakao* (hlm. 35–43). Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal - Kementerian Pertanian.

LCM Systems Ltd. (2024). *Understanding Strain Gauge Load Cells*. LCM Systems. <https://www.lcmsystems.com/understanding-strain-gauge-load-cells>

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep Learning. *Nature*, 521, 436–444. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nature14539>



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Li, S. (2025, Maret 13). *Websockets: Real-Time Communication for Modern Web Applications*. <https://wslisam.medium.com/websockets-real-time-communication-for-modern-web-applications-40543609aa1f>
- Load Cell Central. (2025, Juni). *How does a load cell work? Understanding the key principles*. <https://www.800loadcel.com/blog/how-does-a-load-cell-work-understanding-the-key-principles.html>
- Meta. (2024). *React v19 – React*. <https://react.dev/blog/2024/12/05/react-19>
- Muñoz, L., Aveleira, A., & Aláiz-Moretón, H. (2023). Characterization of threats in IoT from an MQTT protocol-oriented dataset. *Complex & Intelligent Systems*, 9, 5281–5296. <https://doi.org/10.1007/s40747-023-01000-y>
- Nitin. (2021, Juni). *Getting started with Raspberry Pi + installation guide for Tensorflow 2.3.1 and OpenCV 4.5.1*. <https://nitin9809.medium.com/getting-started-with-raspberry-pi-installation-guide-for-tensorflow-2-3-1-and-opencv-4-5-1-3a5bd0b6de2d>
- OASIS. (2019). *MQTT version 5.0. OASIS Standard*. <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html>
- PacktPublishing. (2025). *GitHub - PacktPublishing/Internet-of-Things-with-ESP8266: Code repository for Internet of Things with ESP8266, published by Packt*. <https://github.com/PacktPublishing/Internet-of-Things-with-ESP8266>
- Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. (2024). *Outlook Kakao 2024: Komoditas Pertanian Subsektor Perkebunan*.
- Puspitafuri, C., & Kasmawati. (2025). Integrasi Artificial Intelligence untuk Prediksi Harga Biji Kakao dan E Commerce dalam Meningkatkan Nilai Jual Petani. *Jurnal Bisnis Digital*, 3(1), 169–189. <https://doi.org/10.52060/j-bisdig.v3i1.3018>
- Ramadhan, R. R., & Udjulawa, D. (2026). Deteksi dan Klasifikasi Penyakit Pada Buah Kakao Menggunakan YOLOv11. *JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer)*, 10(1), 154. <https://doi.org/10.26798/jiko.v10i1.2399>
- Raspberry Pi. (t.t.). *Raspberry Pi Documentation - Display*. Diambil <https://www.raspberrypi.com/documentation/accessories/display.html>
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *2016 IEEE Conference on Computer*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Vision and Pattern Recognition (CVPR), 779–788.
<https://doi.org/10.1109/cvpr.2016.91>

Sabahannur, S., Syam, N., & Ervina. (2023). Mutu Fisik dan Kimia Biji Kakao (*Theobroma cacao* L.) pada beberapa. *Jurnal Agrotek*, 7(2).

Satryadi. (2013). *Mempelajari Sifat Fisik dan Fisiko Kimia Buah dan Biji Kakao Hasil Peremajaan Tanaman Kakao (Teknik Sambung Samping) di Kabupaten Luwu Utara* [Undergraduate Thesis (Skripsi)]. Universitas Hasanuddin.

Sekretariat Jenderal Perindustrian. (2007). *Gambaran Sekilas Industri Kakao*.

Sindelar, R. (2005). *Hierarchical Fuzzy System*.

SNI 2323:2008: Biji Kakao (2008).

SparkFun Electronics. (2023). *HX711 24-Bit ADC for Weigh Scales Datasheet*. Digi-Key Electronics.
<https://www.digikey.com/htmldatasheets/production/1836471/0/0/1/hx711.html>

Terenzi, S. (2025, Juni). *Fermentation: the magical step to Amazing Chocolate - The Chocolate Journalist*.
<https://www.thechocolatejournalist.com/blog/fermentation-magical-step-chocolate>

Tjitrosoepomo, G. (2010). *Taksonomi Tumbuhan (Spermatophyta)*. Gadjah Mada University Press.

Walke. (2013). *React*. <https://react.dev>

WESORT. (2025). *WESORT Cocoa Bean Color Sorter*.
<https://www.wesort.com/cocoa-bean-color-sorter>

Xie, Q. (2020, Juni). *Biji kakao kering*. <https://www.istockphoto.com/id/foto/biji-kakao-kering-gm1216765036-354923685>

Yazdi, O. M., & Handono, G. F. (2013). Sistem Pakar Fuzzy Penentuan Kualitas Kakao. *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika (JANAPATI)*, 1(2).

Yoga, P. (2020, Juni). *Apa yang dimaksud dengan NodeMCU ESP8266?*
<https://www.arduino.biz.id/2020/10/apa-yang-dimaksud-dengan-nodemcu-esp8266.html>



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Arfiansyah Putra. lahir di Jakarta pada tanggal 07 Januari 2004, merupakan anak keempat dari empat bersaudara yang mengawali jenjang pendidikan formal di SDN Pulo 03 Pagi Jakarta Selatan hingga lulus pada tahun 2016, kemudian melanjutkan studi ke SMP Negeri 12 Jakarta hingga tahun 2019, dan menyelesaikan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 46 Jakarta jurusan Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) pada tahun 2022. Setelah lulus SMA, diterima di Perguruan Tinggi Negeri pada tahun 2022 di Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta (PNJ), dan sempat berkesempatan melaksanakan program magang di Laboratorium Kalibrasi PLN Pusertif selama 5 bulan sejak Juli 2025, hingga akhirnya berhasil menyelesaikan seluruh rangkaian studi dan menyusun skripsi ini untuk memperoleh gelar akademik pada tahun 2026.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Lampiran 1. Kode Program Sistem Inferensi *Fuzzy* Hiearkis (HFS)

```

1  import numpy as np
2  import skfuzzy as fuzz
3  from skfuzzy import control as ctrl
4  import matplotlib.pyplot as plt
5  import pandas as pd
6
7  # =====
8  # KONFIGURASI VISUALISASI
9  # =====
10
11 plt.style.use('seaborn-v0_8-muted')
12 COLORS = ['#1565C0', '#2E7D32', '#F9A825', '#E65100', '#C62828', '#6A1B9A']
13
14
15 def plot_membership_beautiful(var, title, xlabel, ax=None):
16     """Plot fungsi keanggotaan dengan area fill dan legenda."""
17     if ax is None:
18         fig, ax = plt.subplots(figsize=(8, 4))
19     for i, label in enumerate(var.terms):
20         ax.plot(var.universe, var[label].mf, COLORS[i % len(COLORS)],
21                linewidth=2, label=label)
22         ax.fill_between(var.universe, 0, var[label].mf,
23                        color=COLORS[i % len(COLORS)], alpha=0.1)
24     ax.set_title(title, fontsize=12, fontweight='bold')
25     ax.set_xlabel(xlabel)
26     ax.set_ylabel('Derajat Keanggotaan ( $\mu$ )')
27     ax.legend(fontsize=9, loc='upper right')
28     ax.grid(True, alpha=0.3)
29     ax.set_ylim(-0.05, 1.05)
30     return ax
31
32
33 def plot_inference_process(var, activation_levels, aggregated, result_val,
34                           title, ax=None):
35     """Visualisasi hasil inferensi: MF ter-clip, area agregasi, dan garis centroid."""
36     if ax is None:
37         fig, ax = plt.subplots(figsize=(8, 4))
38     universe = var.universe
39     for i, (label, activation) in enumerate(activation_levels.items()):
40         term_mf = var[label].mf
41         ax.plot(universe, term_mf, COLORS[i % len(COLORS)], linewidth=1,
42                linestyle='--', alpha=0.3)
43         clipped_mf = np.fmin(activation, term_mf)
44         ax.plot(universe, clipped_mf, COLORS[i % len(COLORS)], linewidth=2,
45                label=f"{label} ( $\alpha$ ={activation:.3f})")
46     ax.fill_between(universe, 0, aggregated, facecolor='#FFA726', alpha=0.2,
47                    label='Area Agregasi')
48     ax.axvline(result_val, color='#D32F2F', linestyle='-', linewidth=2.5,
49               label=f'Centroid={result_val:.3f}')
50     ax.set_title(title, fontsize=12, fontweight='bold')
51     ax.set_ylabel('Derajat Keanggotaan ( $\mu$ )')
52     ax.legend(fontsize=8, loc='upper right')
53     ax.grid(True, alpha=0.3)
54     return ax
55
56
57 # =====
58 # FUNGSI UTILITAS FUZZY
59 # =====
60

```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

61 def get_fuzzification(variable, value):
62     """Hitung derajat keanggotaan tiap term untuk nilai crisp tertentu."""
63     return {term: fuzz.interp_membership(variable.universe,
64                                           variable[term].mf, value)
65             for term in variable.terms}
66
67
68 def calculate_centroid_details(consequent, clipping_dict):
69     """
70     Lakukan agregasi (max-min) dan hitung centroid.
71     Mengembalikan: aggregated, centroid, area, moment.
72     """
73     universe = consequent.universe
74     aggregated = np.zeros_like(universe)
75     for term, alpha in clipping_dict.items():
76         term_mf = consequent[term].mf
77         clipped = np.fmin(alpha, term_mf)
78         aggregated = np.fmax(aggregated, clipped)
79     sum_mu_z = np.sum(aggregated * universe)
80     sum_mu = np.sum(aggregated)
81     centroid = sum_mu_z / sum_mu if sum_mu != 0 else 0
82     step = universe[1] - universe[0]
83     area = sum_mu * step
84     moment = sum_mu_z * step
85     return aggregated, centroid, area, moment
86
87
88 # =====
89 # BLOK 1: VARIABEL FUZZY – EVALUASI CACAT VISUAL
90 # =====
91
92 jamur = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 101, 0.1), 'jamur')
93 hitam = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 101, 0.1), 'hitam')
94 cacat_fisik = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 101, 0.1), 'cacat_fisik')
95 skor_cacat = ctrl.Consequent(np.arange(0, 101, 0.1), 'skor_cacat')
96
97 # --- Jamur ---
98 jamur['rendah'] = fuzz.trapmf(jamur.universe, [0, 0, 1.5, 5])
99 jamur['sedang'] = fuzz.trimf(jamur.universe, [1.5, 5, 12])
100 jamur['tinggi'] = fuzz.trapmf(jamur.universe, [5, 12, 100, 100])
101
102 # --- Biji Hitam ---
103 hitam['rendah'] = fuzz.trapmf(hitam.universe, [0, 0, 3, 10])
104 hitam['sedang'] = fuzz.trimf(hitam.universe, [3, 10, 22])
105 hitam['tinggi'] = fuzz.trapmf(hitam.universe, [10, 22, 100, 100])
106
107 # --- Cacat Fisik ---
108 cacat_fisik['rendah'] = fuzz.trapmf(cacat_fisik.universe, [0, 0, 5, 15])
109 cacat_fisik['sedang'] = fuzz.trimf(cacat_fisik.universe, [5, 15, 32])
110 cacat_fisik['tinggi'] = fuzz.trapmf(cacat_fisik.universe, [15, 32, 100, 100])
111
112 # --- Output Blok 1: Skor Cacat ---
113 skor_cacat['rendah'] = fuzz.trimf(skor_cacat.universe, [0, 0, 50])
114 skor_cacat['sedang'] = fuzz.trimf(skor_cacat.universe, [20, 50, 80])
115 skor_cacat['tinggi'] = fuzz.trimf(skor_cacat.universe, [50, 100, 100])
116
117
118 # =====
119 # BLOK 2: VARIABEL FUZZY – EVALUASI MUTU AKHIR
120 # =====
121
122 bean_count = ctrl.Antecedent(np.arange(50, 151, 0.1), 'bean_count')

```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

123 skor_cacat_in = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 101, 0.1), 'skor_cacat_in')
124 skor_mutu = ctrl.Consequent(np.arange(0, 101, 0.1), 'skor_mutu')
125
126 # --- Bean Count (biji per 100 gram) ---
127 bean_count['mutu_aa'] = fuzz.trapmf(bean_count.universe, [50, 50, 75, 93])
128 bean_count['mutu_a'] = fuzz.trimf(bean_count.universe, [75, 93, 105])
129 bean_count['mutu_b'] = fuzz.trimf(bean_count.universe, [93, 105, 115])
130 bean_count['mutu_c'] = fuzz.trimf(bean_count.universe, [105, 115, 125])
131 bean_count['mutu_s'] = fuzz.trapmf(bean_count.universe, [115, 125, 150, 150])
132
133 # --- Input Blok 2: Skor Cacat ---
134 skor_cacat_in['rendah'] = fuzz.trimf(skor_cacat_in.universe, [0, 0, 50])
135 skor_cacat_in['sedang'] = fuzz.trimf(skor_cacat_in.universe, [20, 50, 80])
136 skor_cacat_in['tinggi'] = fuzz.trimf(skor_cacat_in.universe, [50, 100, 100])
137
138 # --- Output Blok 2: Skor Mutu ---
139 skor_mutu['mutu_3'] = fuzz.trimf(skor_mutu.universe, [0, 0, 55])
140 skor_mutu['mutu_2'] = fuzz.trimf(skor_mutu.universe, [20, 55, 85])
141 skor_mutu['mutu_1'] = fuzz.trimf(skor_mutu.universe, [55, 100, 100])
142
143
144 # =====
145 # VISUALISASI MEMBERSHIP FUNCTION BLOK 1 & BLOK 2
146 # =====
147
148 fig, axes = plt.subplots(2, 2, figsize=(14, 10))
149
150 plot_membership_beautiful(jamur, "Input Blok 1: Jamur", "Persentase (%)", ax=axes[0,
151 0])
152 axes[0, 0].set_xlim(0, 20)
153 plot_membership_beautiful(hitam, "Input Blok 1: Hitam", "Persentase (%)", ax=axes[0,
154 1])
155 axes[0, 1].set_xlim(0, 30)
156 plot_membership_beautiful(cacat_fisik, "Input Blok 1: Cacat Fisik", "Persentase (%)",
157 ax=axes[1, 0])
158 axes[1, 0].set_xlim(0, 40)
159 plot_membership_beautiful(skor_cacat, "Output Blok 1: Skor Cacat", "Skor (0-100)",
160 ax=axes[1, 1])
161
162 plt.tight_layout()
163 plt.show()
164
165 fig, axes = plt.subplots(1, 3, figsize=(18, 5))
166
167 plot_membership_beautiful(bean_count, "Input Blok 2: Bean Count", "Biji/100g",
168 ax=axes[0])
169 plot_membership_beautiful(skor_cacat_in, "Input Blok 2: Skor Cacat (In)", "Skor (0-
170 100)", ax=axes[1])
171 plot_membership_beautiful(skor_mutu, "Output Blok 2: Skor Mutu", "Skor (0-100)",
172 ax=axes[2])
173
174 plt.tight_layout()
175 plt.show()
176
177
178 # =====
179 # MESIN INFERENSI BLOK 1: 27 ATURAN
180 # =====
181
182 def analyze_block_1(j_val, h_val, cf_val):
183     """
184     Evaluasi 27 aturan fuzzy Blok 1 (Jamur x Hitam x Cacat Fisik).

```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

185     Mengembalikan: fuzzifikasi jamur, hitam, cacat_fisik,
186                     DataFrame aturan, dan dict clipping per output.
187
188     """
189     f_j = get_fuzzification(jamur, j_val)
190     f_h = get_fuzzification(hitam, h_val)
191     f_cf = get_fuzzification(cacat_fisik, cf_val)
192
193     rules = []
194
195     # Kelompok Jamur Rendah (9 aturan)
196     rules.append({"ID": "R1.1", "Logic": "J(R) AND H(R) AND CF(R)",
197                  "Alpha": min(f_j['rendah'], f_h['rendah'], f_cf['rendah']),
198                  "Output": "rendah"})
199     rules.append({"ID": "R1.2", "Logic": "J(R) AND H(R) AND CF(S)",
200                  "Alpha": min(f_j['rendah'], f_h['rendah'], f_cf['sedang']),
201                  "Output": "rendah"})
202     rules.append({"ID": "R1.3", "Logic": "J(R) AND H(R) AND CF(T)",
203                  "Alpha": min(f_j['rendah'], f_h['rendah'], f_cf['tinggi']),
204                  "Output": "sedang"})
205     rules.append({"ID": "R1.4", "Logic": "J(R) AND H(S) AND CF(R)",
206                  "Alpha": min(f_j['rendah'], f_h['sedang'], f_cf['rendah']),
207                  "Output": "rendah"})
208     rules.append({"ID": "R1.5", "Logic": "J(R) AND H(S) AND CF(S)",
209                  "Alpha": min(f_j['rendah'], f_h['sedang'], f_cf['sedang']),
210                  "Output": "sedang"})
211     rules.append({"ID": "R1.6", "Logic": "J(R) AND H(S) AND CF(T)",
212                  "Alpha": min(f_j['rendah'], f_h['sedang'], f_cf['tinggi']),
213                  "Output": "tinggi"})
214     rules.append({"ID": "R1.7", "Logic": "J(R) AND H(T) AND CF(R)",
215                  "Alpha": min(f_j['rendah'], f_h['tinggi'], f_cf['rendah']),
216                  "Output": "sedang"})
217     rules.append({"ID": "R1.8", "Logic": "J(R) AND H(T) AND CF(S)",
218                  "Alpha": min(f_j['rendah'], f_h['tinggi'], f_cf['sedang']),
219                  "Output": "tinggi"})
220     rules.append({"ID": "R1.9", "Logic": "J(R) AND H(T) AND CF(T)",
221                  "Alpha": min(f_j['rendah'], f_h['tinggi'], f_cf['tinggi']),
222                  "Output": "tinggi"})
223
224     # Kelompok Jamur Sedang (9 aturan)
225     rules.append({"ID": "R1.10", "Logic": "J(S) AND H(R) AND CF(R)",
226                  "Alpha": min(f_j['sedang'], f_h['rendah'], f_cf['rendah']),
227                  "Output": "sedang"})
228     rules.append({"ID": "R1.11", "Logic": "J(S) AND H(R) AND CF(S)",
229                  "Alpha": min(f_j['sedang'], f_h['rendah'], f_cf['sedang']),
230                  "Output": "sedang"})
231     rules.append({"ID": "R1.12", "Logic": "J(S) AND H(R) AND CF(T)",
232                  "Alpha": min(f_j['sedang'], f_h['rendah'], f_cf['tinggi']),
233                  "Output": "tinggi"})
234     rules.append({"ID": "R1.13", "Logic": "J(S) AND H(S) AND CF(R)",
235                  "Alpha": min(f_j['sedang'], f_h['sedang'], f_cf['rendah']),
236                  "Output": "sedang"})
237     rules.append({"ID": "R1.14", "Logic": "J(S) AND H(S) AND CF(S)",
238                  "Alpha": min(f_j['sedang'], f_h['sedang'], f_cf['sedang']),
239                  "Output": "tinggi"})
240     rules.append({"ID": "R1.15", "Logic": "J(S) AND H(S) AND CF(T)",
241                  "Alpha": min(f_j['sedang'], f_h['sedang'], f_cf['tinggi']),
242                  "Output": "tinggi"})
243     rules.append({"ID": "R1.16", "Logic": "J(S) AND H(T) AND CF(R)",
244                  "Alpha": min(f_j['sedang'], f_h['tinggi'], f_cf['rendah']),
245                  "Output": "tinggi"})
246     rules.append({"ID": "R1.17", "Logic": "J(S) AND H(T) AND CF(S)",

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

247         "Alpha": min(f_j['sedang'], f_h['tinggi'], f_cf['sedang']),
248     "Output": "tinggi"})
249     rules.append({"ID": "R1.18", "Logic": "J(S) AND H(T) AND CF(T)",
250         "Alpha": min(f_j['sedang'], f_h['tinggi'], f_cf['tinggi']),
251     "Output": "tinggi"})
252
253     # Kelompok Jamur Tinggi (9 aturan)
254     rules.append({"ID": "R1.19", "Logic": "J(T) AND H(R) AND CF(R)",
255         "Alpha": min(f_j['tinggi'], f_h['rendah'], f_cf['rendah']),
256     "Output": "sedang"})
257     rules.append({"ID": "R1.20", "Logic": "J(T) AND H(R) AND CF(S)",
258         "Alpha": min(f_j['tinggi'], f_h['rendah'], f_cf['sedang']),
259     "Output": "tinggi"})
260     rules.append({"ID": "R1.21", "Logic": "J(T) AND H(R) AND CF(T)",
261         "Alpha": min(f_j['tinggi'], f_h['rendah'], f_cf['tinggi']),
262     "Output": "tinggi"})
263     rules.append({"ID": "R1.22", "Logic": "J(T) AND H(S) AND CF(R)",
264         "Alpha": min(f_j['tinggi'], f_h['sedang'], f_cf['rendah']),
265     "Output": "tinggi"})
266     rules.append({"ID": "R1.23", "Logic": "J(T) AND H(S) AND CF(S)",
267         "Alpha": min(f_j['tinggi'], f_h['sedang'], f_cf['sedang']),
268     "Output": "tinggi"})
269     rules.append({"ID": "R1.24", "Logic": "J(T) AND H(S) AND CF(T)",
270         "Alpha": min(f_j['tinggi'], f_h['sedang'], f_cf['tinggi']),
271     "Output": "tinggi"})
272     rules.append({"ID": "R1.25", "Logic": "J(T) AND H(T) AND CF(R)",
273         "Alpha": min(f_j['tinggi'], f_h['tinggi'], f_cf['rendah']),
274     "Output": "tinggi"})
275     rules.append({"ID": "R1.26", "Logic": "J(T) AND H(T) AND CF(S)",
276         "Alpha": min(f_j['tinggi'], f_h['tinggi'], f_cf['sedang']),
277     "Output": "tinggi"})
278     rules.append({"ID": "R1.27", "Logic": "J(T) AND H(T) AND CF(T)",
279         "Alpha": min(f_j['tinggi'], f_h['tinggi'], f_cf['tinggi']),
280     "Output": "tinggi"})
281
282     df_rules = pd.DataFrame(rules)
283     df_rules['Status'] = df_rules['Alpha'].apply(lambda x: 'Aktif' if x > 0 else
284     'Tidak Aktif')
285
286     clipping = {
287         'rendah': df_rules[df_rules['Output'] == 'rendah']['Alpha'].max(),
288         'sedang': df_rules[df_rules['Output'] == 'sedang']['Alpha'].max(),
289         'tinggi': df_rules[df_rules['Output'] == 'tinggi']['Alpha'].max()
290     }
291     return f_j, f_h, f_cf, df_rules, clipping
292
293
294     # =====
295     # MESIN INFERENSI BLOK 2: 15 ATURAN
296     # =====
297
298     def analyze_block_2(bc_val, sc_val):
299         """
300         Evaluasi 15 aturan fuzzy Blok 2 (Bean Count x Skor Cacat).
301         Mengembalikan: fuzzifikasi bean_count & skor_cacat_in,
302             DataFrame aturan, dan dict clipping per output.
303         """
304         f_bc = get_fuzzification(bean_count, bc_val)
305         f_sc = get_fuzzification(skor_cacat_in, sc_val)
306
307         rules = []
308

```




© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

309 # Bean Count Mutu AA
310 rules.append({"ID": "R2.1", "Logic": "BC(AA) AND SC(R)", "Alpha":
311 min(f_bc['mutu_aa'], f_sc['rendah']), "Output": "mutu_1"})
312 rules.append({"ID": "R2.2", "Logic": "BC(AA) AND SC(S)", "Alpha":
313 min(f_bc['mutu_aa'], f_sc['sedang']), "Output": "mutu_2"})
314 rules.append({"ID": "R2.3", "Logic": "BC(AA) AND SC(T)", "Alpha":
315 min(f_bc['mutu_aa'], f_sc['tinggi']), "Output": "mutu_3"})
316
317 # Bean Count Mutu A
318 rules.append({"ID": "R2.4", "Logic": "BC(A) AND SC(R)", "Alpha":
319 min(f_bc['mutu_a'], f_sc['rendah']), "Output": "mutu_1"})
320 rules.append({"ID": "R2.5", "Logic": "BC(A) AND SC(S)", "Alpha":
321 min(f_bc['mutu_a'], f_sc['sedang']), "Output": "mutu_2"})
322 rules.append({"ID": "R2.6", "Logic": "BC(A) AND SC(T)", "Alpha":
323 min(f_bc['mutu_a'], f_sc['tinggi']), "Output": "mutu_3"})
324
325 # Bean Count Mutu B
326 rules.append({"ID": "R2.7", "Logic": "BC(B) AND SC(R)", "Alpha":
327 min(f_bc['mutu_b'], f_sc['rendah']), "Output": "mutu_2"})
328 rules.append({"ID": "R2.8", "Logic": "BC(B) AND SC(S)", "Alpha":
329 min(f_bc['mutu_b'], f_sc['sedang']), "Output": "mutu_3"})
330 rules.append({"ID": "R2.9", "Logic": "BC(B) AND SC(T)", "Alpha":
331 min(f_bc['mutu_b'], f_sc['tinggi']), "Output": "mutu_3"})
332
333 # Bean Count Mutu C
334 rules.append({"ID": "R2.10", "Logic": "BC(C) AND SC(R)", "Alpha":
335 min(f_bc['mutu_c'], f_sc['rendah']), "Output": "mutu_2"})
336 rules.append({"ID": "R2.11", "Logic": "BC(C) AND SC(S)", "Alpha":
337 min(f_bc['mutu_c'], f_sc['sedang']), "Output": "mutu_3"})
338 rules.append({"ID": "R2.12", "Logic": "BC(C) AND SC(T)", "Alpha":
339 min(f_bc['mutu_c'], f_sc['tinggi']), "Output": "mutu_3"})
340
341 # Bean Count Mutu S
342 rules.append({"ID": "R2.13", "Logic": "BC(S) AND SC(R)", "Alpha":
343 min(f_bc['mutu_s'], f_sc['rendah']), "Output": "mutu_3"})
344 rules.append({"ID": "R2.14", "Logic": "BC(S) AND SC(S)", "Alpha":
345 min(f_bc['mutu_s'], f_sc['sedang']), "Output": "mutu_3"})
346 rules.append({"ID": "R2.15", "Logic": "BC(S) AND SC(T)", "Alpha":
347 min(f_bc['mutu_s'], f_sc['tinggi']), "Output": "mutu_3"})
348
349 df_rules = pd.DataFrame(rules)
350 df_rules['Status'] = df_rules['Alpha'].apply(lambda x: 'Aktif' if x > 0 else
351 'Tidak Aktif')
352
353 clipping = {
354 'mutu_3': df_rules[df_rules['Output'] == 'mutu_3']['Alpha'].max(),
355 'mutu_2': df_rules[df_rules['Output'] == 'mutu_2']['Alpha'].max(),
356 'mutu_1': df_rules[df_rules['Output'] == 'mutu_1']['Alpha'].max()
357 }
358 return f_bc, f_sc, df_rules, clipping
359
360
361 # =====
362 # SIMULASI UTAMA
363 # =====
364
365 # --- INPUT DATA ---
366 BERAT_SAMPEL = 100 # gram
367 JUMLAH_BIJI = 120 # biji
368 BIJI_JAMUR = 1 # jumlah biji jamur
369 BIJI_HITAM = 0 # jumlah biji hitam
370 BIJI_CF = 0 # jumlah biji cacat fisik

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

371
372 # Preprocessing: konversi ke persentase / bean count
373 val_bc = (JUMLAH_BIJI / BERAT_SAMPEL) * 100
374 val_j = (BIJI_JAMUR / JUMLAH_BIJI) * 100
375 val_h = (BIJI_HITAM / JUMLAH_BIJI) * 100
376 val_cf = (BIJI_CF / JUMLAH_BIJI) * 100
377
378 print("INPUT TERUKUR:")
379 print(f"- Bean Count : {val_bc:.2f} biji/100g")
380 print(f"- Persen Jamur: {val_j:.2f}%")
381 print(f"- Persen Hitam: {val_h:.2f}%")
382 print(f"- Persen CF : {val_cf:.2f}%")
383
384 # --- Analisis Blok 1: Skor Cacat ---
385 f_j, f_h, f_cf, r1_df, c1_dict = analyze_block_1(val_j, val_h, val_cf)
386 agg1, ctr1, area1, mom1 = calculate_centroid_details(skor_cacat, c1_dict)
387
388 # --- Analisis Blok 2: Skor Mutu (memakai output Blok 1 sebagai input) ---
389 f_bc, f_sc, r2_df, c2_dict = analyze_block_2(val_bc, ctr1)
390 agg2, ctr2, area2, mom2 = calculate_centroid_details(skor_mutu, c2_dict)
391
392 # --- Visualisasi Proses Inferensi ---
393 fig, axes = plt.subplots(3, 2, figsize=(15, 15))
394
395 plot_membership_beautiful(jamur, "Input: Jamur", "Persentase (%)", ax=axes[0, 0])
396 axes[0, 0].axvline(val_j, color='red', linestyle='--')
397 axes[0, 0].set_xlim(0, 20)
398
399 plot_membership_beautiful(hitam, "Input: Hitam", "Persentase (%)", ax=axes[0, 1])
400 axes[0, 1].axvline(val_h, color='red', linestyle='--')
401 axes[0, 1].set_xlim(0, 30)
402
403 plot_membership_beautiful(cacat_fisik, "Input: Cacat Fisik", "Persentase (%)",
404 ax=axes[1, 0])
405 axes[1, 0].axvline(val_cf, color='red', linestyle='--')
406 axes[1, 0].set_xlim(0, 40)
407
408 plot_membership_beautiful(bean_count, "Input: Bean Count", "Biji/100g", ax=axes[1, 1])
409 axes[1, 1].axvline(val_bc, color='red', linestyle='--')
410
411 plot_inference_process(skor_cacat, c1_dict, agg1, ctr1,
412 "Inferensi Blok 1: Skor Cacat", ax=axes[2, 0])
413 plot_inference_process(skor_mutu, c2_dict, agg2, ctr2,
414 "Inferensi Blok 2: Skor Mutu", ax=axes[2, 1])
415
416 plt.tight_layout()
417 plt.show()
418
419
420 # =====
421 # TABEL HASIL
422 # =====
423
424 print("\n1. TABEL FUZZIFIKASI BLOK 1")
425 fuzz_data = []
426 for var_name, d in [('Jamur', f_j), ('Hitam', f_h), ('Cacat Fisik', f_cf)]:
427     for s, mu in d.items():
428         fuzz_data.append({"Variabel": var_name, "Himpunan": s, "Derajat μ": round(mu,
429 4)})
430 print(pd.DataFrame(fuzz_data))
431
432 print("\n2. TABEL INFERENSI RULE BLOK 1")

```




© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

433 print(r1_df)
434
435 print("\n3. RINCIAN DEFUZZIFIKASI BLOK 1 (CENTROID)")
436 detil1 = pd.DataFrame([
437     "Total Momen": round(mom1, 4),
438     "Total Luas Area": round(area1, 4),
439     "Hasil Crisp": round(ctr1, 4)
440 ])
441 print(detil1)
442
443 print("\n" + "=" * 60)
444
445 print("\n4. TABEL FUZZIFIKASI BLOK 2")
446 fuzz_data2 = []
447 for var_name, d in [('Bean Count', f_bc), ('Skor Cacat (In)', f_sc)]:
448     for s, mu in d.items():
449         fuzz_data2.append({"Variabel": var_name, "Himpunan": s, "Derajat  $\mu$ ": round(mu,
450 4)})
451 print(pd.DataFrame(fuzz_data2))
452
453 print("\n5. TABEL INFERENSI RULE BLOK 2")
454 print(r2_df)
455
456 print("\n6. RINCIAN DEFUZZIFIKASI BLOK 2 (CENTROID)")
457 detil2 = pd.DataFrame([
458     "Total Momen": round(mom2, 4),
459     "Total Luas Area": round(area2, 4),
460     "Hasil Crisp": round(ctr2, 4)
461 ])
462 print(detil2)
463
464 print("\n" + "=" * 60)
465 grade = "Mutu I" if ctr2 >= 70 else "Mutu II" if ctr2 >= 40 else "Mutu III"
466 print("KESIMPULAN AKHIR:")
467 print(f"Skor Mutu Akhir: {ctr2:.4f} -> Klasifikasi: {grade}")

```

Lampiran 2. Kode Program MQTT Load Cell

```

1 #include <ESP8266WiFi.h>
2 #include <PubSubClient.h>
3 #include "HX711.h"
4
5 // =====
6 // HARDWARE & NETWORK CONSTANTS
7 // =====
8
9 // WiFi credentials
10 const char* WIFI_SSID = "KakaoNetwork";
11 const char* WIFI_PASSWORD = "kakao123";
12
13 // MQTT broker configuration
14 const char* MQTT_BROKER = "10.42.0.30";
15 const char* MQTT_TOPIC_STATUS = "kakao/esp/status";
16 const char* MQTT_TOPIC_CONTROL = "kakao/control";
17 const char* MQTT_TOPIC_WEIGHT = "kakao/weight/data";
18 const int MQTT_PORT = 1883;
19 const int MQTT_BUFFER_SIZE = 512;
20
21 // HX711 load cell pins
22 const int LOADCELL_DOUT_PIN = D5;
23 const int LOADCELL_SCK_PIN = D6;

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

24
25 // Scale calibration factor (negative for inverted reading)
26 const float CALIBRATION_FACTOR = -1161.779;
27
28 // Minimum weight threshold to report as zero (grams)
29 const float THRESHOLD_MIN = 1.5;
30
31 // =====
32 // TIMING CONSTANTS
33 // =====
34
35 const unsigned long WIFI_CHECK_INTERVAL = 5000; // WiFi reconnect check period
36 const unsigned long SAMPLE_INTERVAL = 20;      // 50 Hz sampling rate
37 const unsigned long SEND_INTERVAL = 500;       // MQTT publish period
38 const unsigned long WIFI_TIMEOUT = 15000;      // WiFi connection timeout
39 const unsigned long LOCK_TIME = 300;           // Stability lock duration
40 const unsigned long TARE_STABILIZE_DELAY = 500; // HX711 warm-up before tare
41 const unsigned long TARE_SAMPLE_COUNT = 20;    // Samples averaged for tare
42
43 // =====
44 // FILTER CONSTANTS
45 // =====
46
47 const float ALPHA_UP = 0.75; // EMA rise response coefficient
48 const float ALPHA_DOWN = 0.25; // EMA fall response coefficient
49 const float LOCK_THRESHOLD = 0.008; // Slope threshold to enter lock
50 const float UNLOCK_THRESHOLD = 0.05; // Slope threshold to exit lock
51 const int MEDIAN_BUFFER_SIZE = 5; // Median filter window
52
53 // =====
54 // GLOBAL OBJECTS
55 // =====
56
57 WiFiClient espClient;
58 PubSubClient mqttClient(espClient);
59 HX711 scale;
60
61 // =====
62 // STATE VARIABLES
63 // =====
64
65 bool isActive = false;
66
67 // Median filter buffer
68 float sampleBuffer[MEDIAN_BUFFER_SIZE];
69 int sampleIndex = 0;
70 bool bufferReady = false;
71
72 // Filtered weight states
73 float internalWeight = 0;
74 float previousInternal = 0;
75 float mqttWeight = 0;
76
77 // Stability lock state
78 bool isLocked = false;
79 unsigned long stableStart = 0;
80 bool firstWeight = true;
81
82 // Timing trackers
83 unsigned long lastWifiCheck = 0;
84 unsigned long lastSampleTime = 0;
85 unsigned long lastSendTime = 0;

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

86
87 // =====
88 // MEDIAN FILTER
89 // =====
90
91 float getMedian5() {
92     float sorted[MEDIAN_BUFFER_SIZE];
93     memcpy(sorted, sampleBuffer, sizeof(sampleBuffer));
94
95     // Simple insertion sort for 5 elements
96     for (int i = 0; i < MEDIAN_BUFFER_SIZE; i++) {
97         for (int j = i + 1; j < MEDIAN_BUFFER_SIZE; j++) {
98             if (sorted[j] < sorted[i]) {
99                 float temp = sorted[i];
100                 sorted[i] = sorted[j];
101                 sorted[j] = temp;
102             }
103         }
104     }
105     return sorted[2]; // Middle element
106 }
107
108 // =====
109 // FILTER RESET
110 // =====
111
112 void resetStabilityFilter() {
113     memset(sampleBuffer, 0, sizeof(sampleBuffer));
114     sampleIndex = 0;
115     bufferReady = false;
116     internalWeight = 0;
117     previousInternal = 0;
118     mqttWeight = 0;
119     isLocked = false;
120     stableStart = 0;
121     firstWeight = true;
122 }
123
124 // =====
125 // WEIGHT PROCESSING PIPELINE
126 // =====
127
128 void processWeight(float raw) {
129     // Push raw sample into circular buffer
130     sampleBuffer[sampleIndex] = raw;
131     sampleIndex++;
132     if (sampleIndex >= MEDIAN_BUFFER_SIZE) {
133         sampleIndex = 0;
134         bufferReady = true;
135     }
136     if (!bufferReady) return; // Wait until buffer is full
137
138     float median = getMedian5();
139
140     // Initialize filter on first valid sample
141     if (firstWeight) {
142         internalWeight = median;
143         previousInternal = median;
144         mqttWeight = median;
145         firstWeight = false;
146     }
147     return;
148 }

```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

148
149 // Dual-speed EMA: faster rise, slower fall
150 float alpha = (median > internalWeight) ? ALPHA_UP : ALPHA_DOWN;
151 internalWeight += alpha * (median - internalWeight);
152
153 // Detect stability based on slope magnitude
154 float movement = fabs(internalWeight - previousInternal);
155
156 if (isLocked) {
157     if (movement > UNLOCK_THRESHOLD) {
158         isLocked = false;
159         stableStart = 0;
160     }
161 } else {
162     if (movement < LOCK_THRESHOLD) {
163         if (stableStart == 0) stableStart = millis();
164         if (millis() - stableStart > LOCK_TIME) {
165             isLocked = true;
166             mqttWeight = round(internalWeight * 100.0) / 100.0;
167         }
168     } else {
169         stableStart = 0;
170     }
171 }
172
173 previousInternal = internalWeight;
174
175 // Publish real-time value while not locked
176 if (!isLocked) {
177     mqttWeight = round(internalWeight * 100.0) / 100.0;
178 }
179 }
180
181 // =====
182 // WIFI SETUP
183 // =====
184
185 void setupWiFi() {
186     delay(10);
187     Serial.print("\nConnecting to ");
188     Serial.println(WIFI_SSID);
189
190     WiFi.mode(WIFI_STA);
191     WiFi.setSleepMode(WIFI_NONE_SLEEP); // Disable sleep for stability
192     WiFi.setAutoReconnect(true);
193     WiFi.persistent(false); // Prevent excessive flash writes
194     WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
195
196     unsigned long start = millis();
197     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && millis() - start < WIFI_TIMEOUT) {
198         delay(500);
199         Serial.print(".");
200         ESP.wdtFeed();
201     }
202
203     if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
204         Serial.println("\nWiFi Connected. IP: " + WiFi.localIP().toString());
205     } else {
206         Serial.println("\nWiFi FAILED! Restarting...");
207         ESP.restart();
208     }
209 }

```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

210
211 // =====
212 // MQTT CALLBACK
213 // =====
214
215 void mqttCallback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
216     String message;
217     for (unsigned int i = 0; i < length; i++) {
218         message += (char)payload[i];
219     }
220
221     Serial.print("Message received [");
222     Serial.print(topic);
223     Serial.print("]: ");
224     Serial.println(message);
225
226     if (message == "start") {
227         isActive = true;
228         Serial.println("DATA TRANSMISSION ENABLED");
229     } else if (message == "stop") {
230         isActive = false;
231         Serial.println("DATA TRANSMISSION DISABLED");
232     } else if (message == "tare") {
233         delay(200);
234         scale.tare(TARE_SAMPLE_COUNT);
235         resetStabilityFilter(); // Prevent stale values from persisting
236         Serial.println("SCALE ZEROED (manual tare, assuming empty tray)");
237     }
238 }
239
240 // =====
241 // WIFI RECONNECT (non-blocking)
242 // =====
243
244 void checkWiFi() {
245     if (millis() - lastWifiCheck < WIFI_CHECK_INTERVAL) return;
246     lastWifiCheck = millis();
247
248     if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
249         Serial.println("WiFi disconnected, attempting reconnect...");
250         WiFi.disconnect();
251         WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
252     }
253 }
254
255 // =====
256 // MQTT RECONNECT (non-blocking, single attempt per call)
257 // =====
258
259 void reconnectMQTT() {
260     if (mqttClient.connected()) return;
261     if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) return;
262
263     Serial.print("Attempting MQTT connection...");
264
265     // Connect with LWT: broker publishes "OFFLINE" if client drops
266     if (mqttClient.connect("ESP8266_Kakao_Client", MQTT_TOPIC_STATUS, 1, true,
267 "OFFLINE")) {
268         Serial.println("connected");
269         mqttClient.publish(MQTT_TOPIC_STATUS, "ONLINE", true);
270         mqttClient.subscribe(MQTT_TOPIC_CONTROL);
271     } else {

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

272     Serial.print("failed, rc=");
273     Serial.println(mqttClient.state());
274 }
275 }
276
277 // =====
278 // SETUP
279 // =====
280
281 void setup() {
282     Serial.begin(115200);
283     system_update_cpu_freq(160);
284
285     // Initialize HX711
286     scale.begin(LOADCELL_DOUT_PIN, LOADCELL_SCK_PIN);
287     scale.set_scale(CALIBRATION_FACTOR);
288
289     delay(TARE_STABILIZE_DELAY);
290     scale.tare(TARE_SAMPLE_COUNT);
291     resetStabilityFilter();
292
293     // Initialize MQTT
294     mqttClient.setBufferSize(MQTT_BUFFER_SIZE);
295     setupWiFi();
296     mqttClient.setServer(MQTT_BROKER, MQTT_PORT);
297     mqttClient.setCallback(mqttCallback);
298 }
299
300 // =====
301 // MAIN LOOP
302 // =====
303
304 void loop() {
305     ESP.wdtFeed();
306
307     checkWiFi();
308     reconnectMQTT();
309     mqttClient.loop();
310
311     unsigned long now = millis();
312
313     // Sample load cell at fixed rate
314     if (scale.is_ready()) {
315         if (now - lastSampleTime >= SAMPLE_INTERVAL) {
316             lastSampleTime = now;
317             float raw = scale.get_units(1);
318             processWeight(raw);
319         }
320     }
321
322     // Publish filtered weight at fixed interval
323     if (isActive && mqttClient.connected()) {
324         if (now - lastSendTime >= SEND_INTERVAL) {
325             lastSendTime = now;
326
327             float finalWeight = (mqttWeight < THRESHOLD_MIN) ? 0 : mqttWeight;
328
329             String payload = "{\"berat\": " + String(finalWeight, 2) +
330                             ", \"unit\": \"gram\", \"locked\": " +
331                             String(isLocked ? "true" : "false") + "}";
332
333             mqttClient.publish(MQTT_TOPIC_WEIGHT, payload.c_str());

```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

334
335     Serial.print("RAW=");
336     Serial.print(scale.get_units(1), 2);
337     Serial.print(" FILTER=");
338     Serial.print(internalWeight, 2);
339     Serial.print(" MQTT=");
340     Serial.print(finalWeight, 2);
341     Serial.print(" LOCK=");
342     Serial.println(isLocked);
343 }
344 }
345
346     yield(); // Allow WiFi stack processing
347 }

```

Lampiran 3. Kode Program Kalibrasi *Load Cell*

```

1  #include <HX711.h>
2
3  // — PIN —————
4  #define DOUT_PIN    D5
5  #define SCK_PIN     D6
6
7  // — PARAMETER KALIBRASI —————
8  #define KNOWN_WEIGHT  50.0f
9  #define SAMPLE_COUNT  200
10 #define WARMUP_SAMPLES  20
11 #define TARE_SAMPLES   100
12 #define IQR_FENCE     1.5f
13 #define GAIN           128
14
15 // — TARGET ERROR —————
16 #define TARGET_ERROR_G  0.05f
17 #define MAX_RETRY       5
18
19 HX711 scale;
20
21 // — PROTOTYPE —————
22 float collectFiltered(int n, const char* label);
23 float collectFilteredGrams(int n);
24 void sortArray(float* arr, int n);
25 float computeMedian(float* arr, int n);
26 void waitForSerial(const char* msg);
27 void printDivider();
28
29 // =====
30 void setup() {
31     Serial.begin(115200);
32     delay(500);
33
34     printDivider();
35     Serial.println("  AUTO CALIBRATION — Load Cell ESP8266");
36     printDivider();
37
38     scale.begin(DOUT_PIN, SCK_PIN);
39     scale.set_gain(GAIN);
40
41     Serial.printf("[WARMUP] Membuang %d sample awal...\n", WARMUP_SAMPLES);
42     for (int i = 0; i < WARMUP_SAMPLES; i++) {
43         scale.get_value();

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

44     delay(10);
45 }
46 Serial.println("[WARMUP] Selesai.");
47
48 // — STEP 1: TARE —————
49 printDivider();
50 Serial.println("STEP 1 – TARE");
51 Serial.println("Pastikan timbangan KOSONG, lalu tekan ENTER...");
52 waitForSerial("Tekan ENTER untuk tare");
53
54 Serial.printf("[TARE] Mengambil %d sample...\n", TARE_SAMPLES);
55 long zeroOffset = 0;
56 for (int i = 0; i < TARE_SAMPLES; i++) {
57     zeroOffset += scale.get_value();
58     if (i % 20 == 0) Serial.printf(" sample %d/%d\r", i, TARE_SAMPLES);
59     delay(5);
60 }
61 zeroOffset /= TARE_SAMPLES;
62 scale.set_offset(zeroOffset);
63 Serial.printf("\n[TARE] Zero offset = %ld\n", zeroOffset);
64
65 // — STEP 2-5: KALIBRASI ITERATIF —————
66 float bestFactor = 0.0f;
67 float bestError = 9999.0f;
68 int attempt = 0;
69 bool success = false;
70
71 while (attempt < MAX_RETRY && !success) {
72     attempt++;
73     printDivider();
74     Serial.printf("STEP 2 – LETAKKAN BEBAN (percobaan %d/%d)\n", attempt, MAX_RETRY);
75     Serial.printf("Letakkan berat standar TEPAT %.1f gram di atas timbangan.\n",
76     KNOWN_WEIGHT);
77     Serial.println("Pastikan beban diam & stabil, lalu tekan ENTER...");
78     waitForSerial("Tekan ENTER saat beban sudah stabil");
79
80     Serial.println("\nSTEP 3 – MENGAMBIL SAMPLE...");
81     float rawCleaned = collectFiltered(SAMPLE_COUNT, "Kalibrasi");
82
83     Serial.println("\nSTEP 4 – DETEKSI TANDA OTOMATIS");
84     float rawAbs = rawCleaned;
85     bool pinFlipped = false;
86
87     if (rawCleaned < 0) {
88         rawAbs = -rawCleaned;
89         pinFlipped = true;
90         Serial.println(" >> Pin terbalik terdeteksi! Nilai raw negatif → dibalik
91 otomatis.");
92     }
93
94     float factor = rawAbs / KNOWN_WEIGHT;
95     Serial.println("\nSTEP 5 – HITUNG CALIBRATION FACTOR");
96     Serial.printf(" >> factor = raw / berat = %.6f\n", factor);
97
98     // — STEP 6: VERIFIKASI —————
99     printDivider();
100    Serial.println("STEP 6 – VERIFIKASI");
101    scale.set_scale(pinFlipped ? -factor : factor);
102    delay(500);
103
104    float verif = collectFilteredGrams(20);
105    float error = verif - KNOWN_WEIGHT;

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

106     float absErr = abs(error);
107
108     if (absErr < bestError) {
109         bestError = absErr;
110         bestFactor = pinFlipped ? -factor : factor;
111     }
112
113     if (absErr <= TARGET_ERROR_G) {
114         Serial.printf("\n✓ TARGET TERCAPAI (error ≤ %.3f gram)\n", TARGET_ERROR_G);
115         success = true;
116     } else {
117         Serial.printf("\nX Error %.4f gram > target %.3f gram\n", absErr,
118 TARGET_ERROR_G);
119     }
120 }
121
122 scale.set_scale(bestFactor);
123
124 // — RINGKASAN AKHIR —
125 printDivider();
126 Serial.println(" KALIBRASI SELESAT");
127 printDivider();
128 Serial.printf(" Calibration Factor : %.6f\n", bestFactor);
129 Serial.printf(" Zero Offset : %ld\n", zeroOffset);
130 Serial.printf(" Error Terbaik : %.4f gram\n", bestError);
131 printDivider();
132 }
133
134 // =====
135 void loop() {
136     static unsigned long lastPrint = 0;
137     if (millis() - lastPrint > 500) {
138         lastPrint = millis();
139         float w = scale.get_units(10);
140         Serial.printf(" Berat: %7.2f gram\n", w);
141     }
142 }
143
144 // =====
145 // FUNGSI FILTERING & UTILITY
146 // =====
147 float collectFiltered(int n, const char* label) {
148     float* samples = new float[n];
149     for (int i = 0; i < n; i++) {
150         samples[i] = (float)scale.get_value();
151         delay(5);
152     }
153
154     sortArray(samples, n);
155
156     float q1 = samples[n / 4];
157     float q3 = samples[3 * n / 4];
158     float iqr = q3 - q1;
159     float lo = q1 - IQR_FENCE * iqr;
160     float hi = q3 + IQR_FENCE * iqr;
161
162     double sum = 0;
163     int valid = 0;
164
165     for (int i = 0; i < n; i++) {
166         if (samples[i] >= lo && samples[i] <= hi) {
167             sum += samples[i];

```




© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

168         valid++;
169     }
170 }
171
172 delete[] samples;
173 return (valid > 0) ? (float)(sum / valid) : 0.0f;
174 }
175
176 float collectFilteredGrams(int n) {
177     float* s = new float[n];
178     for (int i = 0; i < n; i++) {
179         s[i] = scale.get_units();
180         delay(20);
181     }
182     sortArray(s, n);
183     float q1 = s[n / 4];
184     float q3 = s[3 * n / 4];
185     float iqr = q3 - q1;
186     float lo = q1 - IQR_FENCE * iqr;
187     float hi = q3 + IQR_FENCE * iqr;
188
189     double sum = 0; int cnt = 0;
190     for (int i = 0; i < n; i++) {
191         if (s[i] >= lo && s[i] <= hi) { sum += s[i]; cnt++; }
192     }
193     delete[] s;
194     return (cnt > 0) ? (float)(sum / cnt) : 0.0f;
195 }
196
197 void sortArray(float* arr, int n) {
198     for (int i = 1; i < n; i++) {
199         float key = arr[i];
200         int j = i - 1;
201         while (j >= 0 && arr[j] > key) {
202             arr[j + 1] = arr[j];
203             j--;
204         }
205         arr[j + 1] = key;
206     }
207 }
208
209 float computeMedian(float* arr, int n) {
210     if (n % 2 == 0) return (arr[n/2 - 1] + arr[n/2]) / 2.0f;
211     return arr[n / 2];
212 }
213
214 void waitForSerial(const char* msg) {
215     Serial.printf(" → %s: ", msg);
216     while (Serial.available()) Serial.read();
217     while (!Serial.available()) delay(50);
218     while (Serial.available()) Serial.read();
219     Serial.println("OK");
220 }
221
222 void printDivider() {
223     Serial.println("-----");
224 }

```