

KARAKTERISASI *LOAD CELL* MENGGUNAKAN *DATA LOGGER MULTI-CHANNEL* BERBASIS ESP32 UNTUK APLIKASI MONITORING SARANG *Tetragonula laeviceps*

MUHAMMAD HEIDAR THARIQ HIDAYAT



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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

Perpustakaan IPB University

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Karakterisasi *Load Cell* Menggunakan *Data Logger Multi-Channel* Berbasis ESP32 untuk Aplikasi Monitoring Sarang *Tetragonula laeviceps*” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Muhammad Heidar Thariq Hidayat
G74190062



ABSTRAK

MUHAMMAD HEIDAR THARIQ HIDAYAT. Karakterisasi *Load Cell* Menggunakan *Data Logger Multi-Channel* Berbasis ESP32 untuk Aplikasi Monitoring Sarang *Tetragonula laeviceps*. Dibimbing oleh ERUS RUSTAMI dan WINDRA PRIAWANDIPUTRA.

Sebagai salah satu komponen penting dalam keberlanjutan ekosistem tropis di Indonesia, lebah *Tetragonula laeviceps* juga memiliki potensi ekonomi yang sangat menjanjikan untuk dikembangkan. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengkarakterisasi tiga unit *load cell* 20 kg sebagai *data logger multi-channel* berbasis ESP32 dengan arsitektur *direct-pin*. Data dikumpulkan dengan mengevaluasi kesesuaian karakterisasi *load cell* melalui empat pengujian metrologi yaitu kalibrasi, presisi, *reproducibility*, dan *drift* jangka panjang. Hasil penelitian menunjukkan pembacaan ketiga sensor di mana *channel* 1 memiliki pembacaan paling stabil dan konsisten dengan persentase *error* 0,083%. *Channel* 3 menunjukkan pembacaan cukup akurat walaupun terjadi penurunan kecil yang konstan, sebaliknya *channel* 2 menunjukkan pembacaan yang sangat berbeda dengan penurunan yang sangat drastis. Walaupun respon pada *channel* 2 kurang baik dan terjadi *noise* pada *channel* 3, sistem *data logger multi-channel* dengan arsitektur *direct-pin* berhasil mengkarakterisasi *load cell* terhadap kebutuhan aplikasi pemantauan biologis koloni *T. laeviceps*.

Kata kunci: ESP32, pencatat data, sensor berat, *Tetragonula laeviceps*.

ABSTRACT

MUHAMMAD HEIDAR THARIQ HIDAYAT. Load Cell Characterization Using ESP32-Based Multi-Channel Data Logger for *Tetragonula laeviceps* Beehive Monitoring Application. Supervised by ERUS RUSTAMI and WINDRA PRIAWANDIPUTRA.

As a key component of the sustainability of tropical ecosystems in Indonesia, the *Tetragonula laeviceps* bee also holds great economic potential for development. This study aims to design and characterize three 20 kg load cell units as ESP32-based multi-channel data loggers with a direct-pin architecture. Data were collected by evaluating the suitability of the load cell characterization through four metrological tests: calibration, precision, reproducibility, and long-term drift. The results show that among the three sensors, Channel 1 provided the most stable and consistent readings with an error percentage of 0.083%. Channel 3 showed fairly accurate readings despite a constant, slight decline, whereas channel 2 exhibited significantly different readings with a very drastic decline. Although the response on channel 2 was suboptimal and noise was present on channel 3, the multi-channel data logger system with a direct-pin architecture successfully characterized the load cells for the requirements of the biological monitoring application of the *T. laeviceps* colony.

Keywords: data logger, ESP32, *Tetragonula laeviceps*, weight sensor.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

KARAKTERISASI *LOAD CELL* MENGGUNAKAN *DATA LOGGER MULTI-CHANNEL* BERBASIS ESP32 UNTUK APLIKASI MONITORING SARANG *Tetragonula laeviceps*

MUHAMMAD HEIDAR THARIQ HIDAYAT

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Fisika

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

- 1 Prof. Dr. Agus Kartono, M.Si.
- 2 Abdul Djamil Husin, S.Si., M.Si.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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

Perpustakaan IPB University

Judul Skripsi : Karakterisasi *Load Cell* Menggunakan *Data Logger Multi-Channel* Berbasis ESP32 untuk Aplikasi Monitoring Sarang *Tetragonula laeviceps*
Nama : Muhammad Heidar Thariq Hidayat
NIM : G74190062

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Erus Rustami, S.Si., M.Si.
NIP. 198302262015041001

Pembimbing 2:
Windra Priawandiputra, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 198607212015041001



Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika:
Dr. Ir. Irmansyah, M.Si.
NIP. 196809161994031001



Tanggal Ujian:
5 Agustus 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga skripsi yang berjudul "Karakterisasi *Load Cell* Menggunakan *Data Logger Multi-Channel* Berbasis ESP32 untuk Aplikasi Monitoring Sarang *Tetragonula laeviceps*" ini berhasil diselesaikan.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam menyelesaikan skripsi ini tidak luput dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Yayat Hidayat, S.E. dan Ibu Dina Khoeriyah, serta adik penulis, Muhammad Pasha Murtaza Hidayat, dan seluruh keluarga besar yang tiada hentinya mengucapkan doa, dukungan materi, serta kasih sayang yang menjadi kekuatan terbesar bagi penulis untuk menyelesaikan studi ini.
2. Bapak Dr. Erus Rustami, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing pertama, dan Bapak Windra Priawandiputra, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku dosen pembimbing kedua, yang telah meluangkan waktu dengan penuh kesabaran untuk memberikan arahan, ilmu, serta masukan selama proses penelitian hingga skripsi ini selesai.
3. Bapak Prof. Dr. Agus Kartono, M.Si. dan Abdul Djamil Husin, S.Si., M.Si., selaku dosen penguji pertama dan kedua, atas saran dan kritikan untuk karya tulis ini.
4. Seluruh Bapak/Ibu dosen dan staf Departemen Fisika atas ilmu pengetahuan dan bimbingan selama perkuliahan hingga penyelesaian skripsi.
5. Rekan-rekan Fisika IPB University angkatan 56 yang kebersamaan selama masa perkuliahan dan tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.
6. Teruntuk diri penulis sendiri, terima kasih atas kerja keras dalam menuntaskan tanggung jawab untuk menyelesaikan studi ini dengan baik.

Akhir kata, semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Muhammad Heidar Thariq Hidayat



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Lebah Tanpa Sengat <i>Tetragonula laeviceps</i>	4
2.2 Prinsip Fisis <i>Load Cell Strain Gauge</i>	5
2.3 HX711 dan Akuisisi Data <i>Multi-Channel ESP32</i>	7
III METODE	9
3.1 Waktu dan Tempat	9
3.2 Alat dan Bahan	9
3.3 Rancangan Sistem	10
3.4 Prosedur Pengujian	13
3.5 Analisis Data	14
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Pembacaan Sensor Berat	15
4.2 Pengujian Sensor Berat	16
V SIMPULAN DAN SARAN	24
5.1 Simpulan	24
5.2 Saran	24
DAFTAR PUSTAKA	25
LAMPIRAN	28



DAFTAR TABEL

1	Instrumen yang digunakan pada penelitian	9
2	Komponen serta PIN GPIO yang digunakan	11
3	Pembacaan data mentah sensor berat	15
4	Faktor kalibrasi sensor berat	16
5	Uji linieritas sensor 1	16
6	Uji linieritas sensor 2	17
7	Uji linieritas sensor 3	17
8	Pembacaan sensor berat 100 milisekon sebanyak 50 sampel	19
9	Pembacaan sensor pada uji pengulangan mekanik	20
10	Perekaman data selama 72 jam	22

DAFTAR GAMBAR

11	Karakteristik morfologis dari <i>T. laeviceps</i> . (A) habitus; (B) frons; (C) <i>mesoscutum</i> ; (D) sayap depan; (E) tibia belakang (Trianto <i>et al.</i> 2020)	4
12	Skematik/rangkaian jembatan <i>wheatstone</i>	6
13	<i>Load cell</i> 20 kg (Sam <i>et al.</i> 2020)	7
14	Penguat sinyal HX711 (Sam <i>et al.</i> 2020)	8
15	<i>3D-printed load cell container</i>	10
16	Skematik rangkaian <i>data logger multi-channel</i> pengukuran berat	11
17	Perbedaan antara arsitektur (a) <i>multiplexer</i> dengan (b) <i>direct-pin</i>	12
18	Diagram blok sistem dengan RTC dan MicroSD	13
19	Rangkaian <i>data logger multi-channel</i> pengukuran berat	15
20	Grafik hubungan antara massa terukur sensor dengan acuan pada (a) <i>channel 1</i> , (b) <i>channel 2</i> , dan (c) <i>channel 3</i> .	18
21	Diagram batang perbandingan nilai rentang antara <i>channel 1</i> , <i>channel 2</i> , dan <i>channel 3</i>	20
22	Grafik pembacaan pengulangan mekanik terhadap massa terukur	21
23	Grafik hubungan antara waktu terhadap massa terukur selama 72 jam	22

DAFTAR LAMPIRAN

24	Lampiran 1 Pembacaan data uji linieritas sensor 1	29
25	Lampiran 2 Pembacaan data uji linieritas sensor 2	29
26	Lampiran 3 Pembacaan data uji linieritas sensor 3	29
27	Lampiran 4 Dokumentasi perekaman data uji <i>drift</i>	30
28	Lampiran 5 Data yang tersimpan di MicroSD pada uji <i>drift</i>	30