

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISIS KOMPONEN MESIN PENIMBANGAN DIGITAL DENGAN *SENSOR LOAD CELL, MOTOR STEPPER, DAN SISTEM KONTROL PID* PADA BAHAN BAKU



Disusun Oleh:

Nama : Isa A'raaf
NIM : 41321110011
Program Studi : Teknik Mesin

**DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Isa A'raaf
NIM : 41321110011
Program Studi : Teknik Mesin

Judul Laporan Skripsi : Analisis Komponen Mesin Penimbangan Digital Dengan
Sensor Load Cell, Motor Stepper, Dan Sistem Kontrol PID Pada
Bahan Baku

Telah berhasil dipertahankan pada sidang di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

Disahkan Oleh:

Pembimbing : Nur Indah, S.ST., MT.
NIDN : 0313038001

Penguji 1 : Sagir Alya., Ph.D
NIDN : 0313037707

Penguji 2 : Subekti, S.T., M.T.
NIDN : 0323117307

Jakarta, 22 Juli 2025

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



(Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, S.TP, MT)

Ketua Program Studi



(Dr.Eng.Imam Hidayat, ST, MT)

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Isa A'raaf

NIM : 41321110011

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Fakultas Teknik

Judul Laporan Skripsi : Analisis Komponen Mesin Penimbangan Digital Dengan
Sensor Load Cell, Motor Stepper, Dan Sistem Kontrol PID Pada
Bahan Baku

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 22 Juli 2025


Isa A'raaf

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji kinerja sistem penimbangan digital yang terdiri dari *sensor load cell*, *motor stepper*, dan pengendali PID dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi proses penimbangan bahan baku di lingkungan industri. Sistem dirancang menggunakan platform mikrokontroler dan diuji dengan variasi beban 50g hingga 1.000g dengan tiga kali pengulangan untuk setiap titik pengujian. Kalibrasi dilakukan terhadap beban standar sebelum eksperimen dilakukan. Data yang diambil meliputi nilai error pembacaan, waktu pencapaian *setpoint*, kestabilan berat, serta efisiensi penggunaan bahan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai tingkat akurasi lebih dari 98% dengan error antara -0,4% hingga +0,3% dan deviasi pembacaan berada dalam kisaran $\pm 0,2$ g selama periode pengujian 60 detik. Implementasi kontrol PID dengan konfigurasi parameter K_p 2,5, K_i 0,8, dan K_d 0,4 menghasilkan respon sistem yang cepat dan stabil dengan rata-rata waktu pencapaian *setpoint* kurang dari 1 detik, *overshoot* sebesar 0,3g, *settling time* 3,3 detik, dan *steady-state error* sebesar 0,015g. Sistem juga menunjukkan peningkatan efisiensi penggunaan bahan hingga 16,5% dibanding sistem manual. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem penimbangan digital yang dibangun mampu memberikan performa yang andal, akurat, dan efisien, serta berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut dalam skala industri yang lebih besar dengan peningkatan pada perangkat keras dan integrasi sistem monitoring.

Kata kunci: *Load cell*, PID, *motor stepper*, penimbangan digital, *overshoot*, waktu respon, akurasi.

ABSTRACT

This research aims to evaluate the performance of a digital weighing system that integrates a *load cell sensor*, *stepper motor*, and PID controller to improve the accuracy and efficiency of raw material measurement in industrial processes. The system was designed using a microcontroller platform and tested with weight variations ranging from 50g to 1.000g, with each load tested three times. Calibration was carried out using standard reference weights prior to experimentation. Data collected included measurement error, time to reach the *setpoint*, weight stability, and material usage efficiency. The results showed that the system achieved more than 98% accuracy, with an error range between -0,4% and +0,3%, and a stable deviation of $\pm 0,2\text{g}$ during a 60-second observation period. Implementation of the PID controller with parameter tuning values of K_p 2,5, K_i 0,8, and K_d 0,4 resulted in a fast and stable response, with an average *setpoint* reaching time of less than 1 second, *overshoot* of 0,3g, *settling time* of 3,3 seconds, and a *steady-state error* of 0,015g. The system also demonstrated improved material efficiency, with a reduction of raw material usage by up to 16,5% compared to the manual system. Based on these findings, it can be concluded that the developed digital weighing system is capable of delivering accurate, fast, and efficient performance, and has the potential to be further developed for large-scale industrial applications through hardware upgrades and integration with monitoring systems.

Keywords: *Load cell*, PID, *stepper motor*, digital weighing, *overshoot*, *response time*, *accuracy*.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa Allah SWT., atas segala limpahan berkat dan karunia Nya yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir tepat waktu dan dapat menyusun laporan Tugas Akhir.

Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr Ir. Andi Adriansyah, M.Eng., selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Ibu Dr. Zulfa Fitri Ikatrianasari, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
3. Bapak Dr.Eng. Imam Hidayat, ST,MT, selaku Kepala Program Studi sekaligus Koordinator Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Mercu Buana Jakarta.
4. Ibu Nur Indah S.ST.,MT. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah mengarahkan dan memberikan bimbingan penulis hingga menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
5. Ibu dan Istri saya yang telah sangat banyak memberikan dorongan semangat yang tak henti untuk menyelesaikan laporan tugas akhir.
6. Rekan-rekan saya di tempat kerja yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu, yang sering menjadi rekan untuk bertukar pikiran sehingga melancarkan penelitian saya.
7. Semua pihak yang telah membantu seluruh rangkaian kegiatan Tugas Akhir yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar laporan ini nantinya dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Jakarta, 22 Juli 2025

Isa A'raaf

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR SIMBOL	xi
DAFTAR SINGKATAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	2
1.4 MANFAAT PENELITIAN	3
1.5 RUANG LINGKUP PENELITIAN	3
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 TINJAUAN PENELITIAN TERDAHULU	5
2.2 MESIN PENIMBANGAN DIGITAL	8
2.2.1 SENSOR LOAD CELL	11
2.2.2 MOTOR STEPPER	13
2.2.3 SISTEM KONTROL PID	15
2.2.4 KONTROL SERI	20
2.2.5 KONTROL PARALEL	21
2.3 SOP PENIMBANGAN DIGITAL	22
2.4 INTEGRASI PROSES PENIMBANGAN	23

BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1	DIAGRAM ALIR	24
3.2	METODE PENELITIAN	25
3.3	PERENCANAAN SISTEM	26
	3.3.1 SIMULASI PYTHON WEB	26
	3.3.2 KOMPONEN ALAT & BAHAN	27
3.4	VARIAN PENGUJIAN	30
3.7	PERANCANGAN MODEL SISTEM DIGITAL	32
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1	KALIBRASI SITEM	33
	4.1.1 PENGUJIAN EKSPERIMEN	33
4.2	PENGAMBILAN DATA	34
	4.2.1 IDENTIFIKASI MANUAL	34
	4.2.2 IDENTIFIKASI DIGITAL	35
	4.2.3 IDENTIFIKASI SISTEM KONTROL	35
	4.2.4 RESPON SISTEM	35
	4.2.5 EVALUASI KONTROL PID	36
4.3	ANALISA DATA	37
4.4	HASIL PENELITIAN	44
4.5	EVALUASI SISTEM PAKAI KONTROL PID	54
4.6	PEMILIHAN BENTUK PID	57
BAB V	KESIMPULAN DAN REKOMENDASI	60
5.1	KESIMPULAN	60
5.2	REKOMENDASI	60
	DAFTAR PUSTAKA	61
	LAMPIRAN	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sensor Load Cell Pada Mesin Penimbangan Digital	11
Gambar 2.2 Motor Stepper Pada Mesin Penimbangan Digital	13
Gambar 2.3 Sistem Kontrol PID Pada Mesin Penimbangan Digital	15
Gambar 2.4 Sistem PI	17
Gambar 2.5 Sistem PD	17
Gambar 2.6 Sistem PID	18
Gambar 2.7 Kontrol Seri PID	20
Gambar 2.8 Kontrol Paralel PID	22
Gambar 2.9 Diagram Blok Hubungan Load Cell – PID – Motor Stepper	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 3.2 Komponen Timbangan Digital	27
Gambar 3.3 Sensor Load Cell	28
Gambar 3.4 Motor Stepper	28
Gambar 3.5 Kontrol PID	29
Gambar 3.6 Penopang dan Wadah Bahan	30
Gambar 3.7 Diagram Blok Sistem	32
Gambar 4.1 grafik pengaruh nilai K_p terhadap respons system	38
Gambar 4.2 grafik pengaruh nilai K_i terhadap respons system	39
Gambar 4.3 grafik pengaruh nilai K_d terhadap respons system	41
Gambar 4.4 Grafik perbandingan sistem P, PI, dan PID	43
Gambar 4.5 Perbandingan Produksi Sebelum dan Setelah Integrasi	45
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Akurasi Penimbangan Manual dan Digital	47
Gambar 4.7 Grafik Selisih Berat dan Kerugian Finansial per Hari	49
Gambar 4.8 Grafik Berat Aktual dan Hasil Mesin	51
Gambar 4.9 Grafik Time Series Pengukuran Berat	54
Gambar 4.10 Grafik Hasil Percobaan	56
Gambar 4.11 Perbandingan Seri dan Paralel	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kajian Terdahulu	5
Tabel 2.2 Spesifikasi Load Cell	12
Tabel 2.3 Spesifikasi Stepper Motor	14
Table 2.4 Spesifikasi PID	19
Tabel 4.1 Pengujian Sistem Penimbangan Digital	33
Tabel 4.2 Perbandingan Antara Identifikasi Manual, Digital, dan Kontrol PID	34
Tabel 4.3 Respon Sistem terhadap Variasi Pengendalian	36
Tabel 4.4 Evaluasi Parameter PID Berdasarkan Hasil Pengujian	36
Tabel 4.5 Nilai Proportional	37
Tabel 4.6 Tuning Proporsional (P)	37
Tabel 4.7 Nilai Integral	39
Tabel 4.8 Tuning Proportional-Integral (PI)	39
Tabel 4.9 Nilai Derivative	40
Tabel 4.10 Tuning PID Lengkap (P + I + D)	40
Tabel 4.11 Data Produksi dan Persentase Penurunan Setelah Integrasi	45
Tabel 4.12 Rekap Selisih Penimbangan dan Efisiensi Waktu Antar Metode	47
Tabel 4.13 Perhitungan Selisih Berat dan Kerugian Penimbangan Tidak Akurat	48
Tabel 4.14 Perbandingan Berat Aktual dan Hasil Analisis Error	50
Tabel 4.15 Perubahan Pembacaan Berat dalam Interval Waktu Tertentu	52
Tabel 4.16 Data Waktu Capai Setpoint Percobaan	53
Tabel 4.17 Rekapitulasi Performa Sistem Penimbangan Otomatis Percobaan	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram aliran sinyal ke modul amplifikasi (HX711).	63
Lampiran 2. Datasheet Motor Stepper NEMA 17	64
Lampiran 3. Datasheet Modul HX711	66



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
M	Massa bahan baku	gram (g) / kilogram (kg)
F	Gaya yang diukur oleh <i>Load Cell</i>	Newton (N)
V	Tegangan keluaran sensor	Volt (V)
I	Arus Listrik	Ampere (A)
Ω	Kecepatan sudut <i>motor stepper</i>	rad/s
Θ	Sudut putaran <i>motor stepper</i>	derajat ($^{\circ}$) / radian
T	Torsi motor	N·m
K _p	Konstanta <i>proporsional</i> (PID)	-
K _i	Konstanta integral (PID)	1/s
K _d	Konstanta derivatif (PID)	S
e(t)	Error (selisih antara berat target dan aktual)	gram (g)
u(t)	Output sinyal kontrol PID	-
y(t)	Berat aktual hasil pengukuran	gram (g)
r(t)	Berat target (<i>setpoint</i>)	gram (g)
PWM	Sinyal pulsa untuk kontrol kecepatan motor	% duty cycle
Δt	Selang waktu sampling PID	detik (s)

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
ADC	Analog to Digital Converter
DC	Direct Current (Arus Searah)
LCD	Liquid Crystal Display
I2C	Inter-Integrated Circuit (protokol komunikasi dua kabel untuk perangkat digital)
PMW	Pulse Width Modulation
PID	<i>Proportional Integral Derivative</i> (algoritma kontrol)
HX711	Modul penguat dan konverter ADC untuk <i>sensor Load Cell</i>
NEMA	National Electrical Manufacturers Association (standar <i>motor stepper</i>)
UNO R3	Varian papan mikrokontroler Arduino berbasis ATmega328P
RPM	Rotation Per Minute (rotasi per menit)
I/O	Input / Output
TFT	<i>Thin Film Transistor</i> (jenis layar LCD opsional)
CAD	Computer Aided Design
BOM	Bill of Materials (daftar komponen dan bahan)
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> (kontrol industri)



UNIVERSITAS
MERCU BUANA