

ALAT UKUR DIGITAL MOMEN TEKUK FITTING LAMPU DENGAN SENSOR *LOAD CELL* BERBASIS MIKROKONTROLER

1st Firman Ahmad Maulana

Departemen of Computer Engineering
Telkom University

Surabaya, Indonesia

firmanahmadmaulana@student.telkomu
niversity

2nd Mohammad Yanuar Hariyawan

Departemen of Computer Engineering
Telkom University

Surabaya, Indonesia

myanuarh@telkomuniversity.ac.id

3rd Hendy Briantoro

Departemen of Computer Engineering
Telkom University

Surabaya, Indonesia

hendybr@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Penelitian ini mengembangkan alat ukur digital momen tekuk fitting lampu berbasis sensor Load Cell dan mikrokontroler ESP32. Alat ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi pengujian dibandingkan metode analog yang masih banyak digunakan. Data hasil pengukuran dikirim dan dicatat secara otomatis ke Google Spreadsheet untuk mempermudah analisis. Pengujian dilakukan pada 30 sampel lampu dengan berbagai merk, bentuk, dan daya, dengan membandingkan hasil alat digital terhadap alat analog. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata galat sebesar 0,0004 Nm dan persentase error 1,82%, masih dalam batas toleransi 5%. Alat ini juga mampu mendeteksi apakah momen tekuk suatu fitting lampu melebihi ambang batas 2 Nm sesuai standar SNI IEC 62560:2015, dengan indikator LED merah dan hijau untuk menunjukkan status kelulusan. Dengan rata-rata waktu pengiriman data sekitar 2,62 detik, sistem ini lebih efisien dibandingkan pencatatan manual. Meskipun akurasi alat sudah baik, masih diperlukan peningkatan pada stabilitas sensor dan kalibrasi lebih lanjut untuk memastikan konsistensi dalam berbagai kondisi pengujian. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam industri pengujian lampu untuk meningkatkan standar kualitas dan keselamatan produk.

Kata kunci— *momen tekuk, fitting lampu, load cell, ESP32, kalibrasi, Google Spreadsheet.*

I. PENDAHULUAN

Lampu merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan sehari-hari, digunakan untuk penerangan di berbagai tempat, baik di rumah, perkantoran, maupun industri. Seiring dengan perkembangan teknologi, berbagai jenis lampu telah dikembangkan, salah satunya adalah lampu LED Swa-Ballast yang semakin banyak digunakan karena efisiensinya dalam konsumsi energi[1]. Namun, sebelum dapat dipasarkan, lampu harus melalui serangkaian pengujian untuk memastikan keamanannya. Salah satu aspek penting dalam pengujian adalah momen tekuk fitting lampu, yang bertujuan untuk menilai daya tahan fitting terhadap tekanan yang mungkin terjadi selama penggunaan. Pengujian momen tekuk sangat penting untuk memastikan bahwa fitting lampu memiliki daya tahan yang cukup terhadap tekanan mekanis yang terjadi selama penggunaannya[2]. Jika fitting tidak diuji dengan baik, maka dapat terjadi berbagai masalah, seperti patah atau deformasi saat pemasangan, kesulitan dalam pemasangan dan pelepasan lampu, serta risiko keamanan seperti korsleting atau bahkan kebakaran akibat fitting yang

rusak. Selain itu, fitting yang lemah akan memiliki umur pakai yang lebih pendek, sehingga meningkatkan biaya perawatan dan penggantian.

Untuk wilayah Jawa Timur, pengujian momen tekuk fitting lampu dilakukan di Balai Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri Surabaya menggunakan standar SNI IEC 62560:2015[3]. Saat ini, pengujian momen tekuk fitting lampu masih banyak dilakukan secara manual menggunakan alat analog. Metode ini memiliki beberapa kelemahan, seperti ketergantungan pada keterampilan operator, potensi kesalahan pencatatan, dan kurangnya kemampuan untuk menyimpan serta menganalisis data hasil pengujian secara efisien. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan alat pengukuran digital berbasis sensor yang lebih akurat dan efisien. Salah satunya adalah penggunaan sensor load cell yang dikombinasikan dengan mikrokontroler ESP32 untuk meningkatkan akurasi pengukuran serta memungkinkan integrasi dengan sistem penyimpanan data berbasis cloud[4][5][6].

Meskipun terdapat beberapa inovasi dalam alat ukur digital, masih terdapat tantangan dalam memastikan stabilitas pembacaan sensor dan meminimalkan *error* pengukuran[7]. Dalam penelitian ini, dikembangkan alat ukur digital momen tekuk fitting lampu menggunakan sensor load cell berbasis mikrokontroler ESP32, dengan fitur pencatatan data otomatis ke Google Spreadsheet. Alat ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi proses pengujian dengan mengurangi kesalahan pencatatan manual serta memberikan data yang lebih akurat dan dapat diakses dengan mudah untuk analisis lebih lanjut.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan alat ukur digital momen tekuk fitting lampu yang mampu memberikan hasil pengukuran yang akurat mendekati hasil pengukuran alat analog. Selain itu, alat ini dirancang untuk mempermudah proses pengujian dengan indikator visual LED yang menunjukkan status kelulusan lampu berdasarkan standar SNI IEC 62560:2015. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi industri pencahayaan dalam memastikan kualitas dan keamanan produk sebelum dipasarkan kepada konsumen.

II. KAJIAN TEORI

Menyajikan dan menjelaskan teori-teori yang berkaitan dengan variabel-variabel penelitian. Poin subjudul ditulis dalam abjad.

A. Lampu Tipe Swa-Ballast

Lampu tipe Swa-Ballast adalah tipe lampu yang tidak dapat dipisahkan jika tidak rusak secara permanen. Basis lampu terintegrasi dengan sumber cahaya dan komponen lain yang diperlukan untuk menyalakan dan menstabilkan sumber cahaya[8]. Lampu Swa-Ballast memiliki bentuk yang kompak dan umumnya memiliki batang burner yang berbentuk huruf U. Lampu ini memiliki warna fisik putih, namun jika dinyalakan dapat memancarkan cahaya dengan bervariasi dari kuning hingga putih cerah. Dan lampu ini memiliki efisiensi yang lebih baik daripada lampu pijar biasa. Oleh karena itu lampu Swa-Ballast disebut juga dengan Lampu Hemat Energi (LHE)[9].

B. Momen Tekuk

Momen tekuk atau momen lentur merupakan momen yang menyebabkan suatu benda mengalami deformasi atau lentur. Hal itu terjadi saat gaya eksternal diterapkan pada benda yang menyebabkan satu sisi benda tersebut tertarik dan sisi lainnya tertekan[10]. Momen tekuk atau momen lentur lampu merujuk pada gaya atau tekanan yang diberikan oleh massa lampu yang dipasangkan pada fitting lampu[3]. Ketika lampu dipasang, beratnya akan menciptakan gaya yang bekerja pada titik sambungan antara fitting danudukan lampu. Jika fitting tidak cukup kuat untuk menahan gaya ini, maka dapat terjadi deformasi atau bahkan kegagalan pada sambungan tersebut. Besarnya momen tekuk pada fitting lampu bergantung pada beberapa faktor, termasuk berat lampu, panjang lengan fitting, dan sifat material dari fitting itu sendiri.

Pengukuran momen tekuk pada fitting lampu penting untuk memastikan bahwa fitting mampu menahan beban yang diberikan tanpa mengalami kegagalan struktural. Hal ini berperan dalam menjaga keamanan dan keandalan sistem pencahayaan, terutama dalam lingkungan di mana lampu digunakan dalam jangka waktu yang lama atau terkena getaran dan perubahan suhu yang ekstrem. Momen lentur (momen tekuk) dihitung berdasarkan beban yang diberikan dan jarak titik tumpu sampai titik dimana beban diterapkan, dengan persamaan :

$$M = F \times d \quad (1)$$

Dimana :

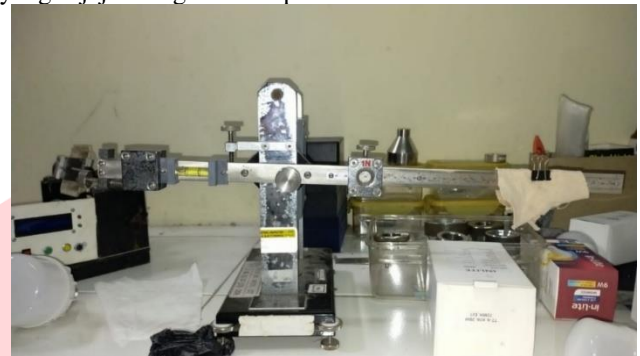
M : Momen Tekuk/Lentur (Nm)
F : Gaya berat lampu (N)
d : Jarak antara Fitting ke sensor (m)

Gaya berat lampu dapat dihitung terlebih dahulu dengan mengalikan massa lampu dengan percepatan gravitasi bumi, yaitu 9,81 m/s.

C. Alat Uji Massa Momen Tekuk pada Fitting Lampu

Alat uji massa momen tekuk pada fitting lampu adalah alat yang digunakan untuk mengukur massa momen tekuk atau lentur yang diberikan oleh lampu pada fitting atau

dudukan. Alat ukur ini berfungsi untuk menguji bagaimana lampu bisa menahan tekanan dan gaya yang diberikan ketika digunakan dalam aplikasi yang berbeda. Pengukuran ini juga dilakukan untuk memastikan bahwa fitting lampu dan kaki lampu tidak mengalami kerusakan dan merubah bentuk ulir sesuai dengan persyaratan keselamatan lampu Swa-Ballast SNI IEC 62560:2015[3]. Bentuk alat pengukuran momen tekuk pada fitting lampu ditampilkan pada gambar 1 dimana pada alat tersebut terdapat gaya 1N pada penggaris (mm) yang sejajar dengan Waterpass.



GAMBAR 1

(ALAT UKUR MOMEN TEKUK FITTING LAMPU ANALOG)

Proses pengukuran momen tekuk pada alat tersebut dilakukan dengan menggeser beban gaya sebesar 1 Newton (N) sepanjang lengan pengukuran hingga mencapai kondisi keseimbangan. Setelah keseimbangan tercapai, momen tekuk dihitung dengan mengalikan gaya yang diberikan (1 N) dengan jarak antara titik pusat beban dan titik tumpu fitting lampu. Pada Gambar 1, penggaris yang digunakan memiliki skala dalam satuan milimeter (mm), sehingga sebelum digunakan dalam perhitungan, satuan tersebut perlu dikonversi terlebih dahulu ke meter (m) untuk mendapatkan hasil dalam satuan SI yang sesuai[3].

D. Persentase Error

Persentase *error* merupakan ukuran persentase dari kesalahan atau deviasi antara nilai yang diukur dan nilai sebenarnya atau perkiraan. Persentase *error* berfungsi untuk mengevaluasi seberapa besar kesalahan yang terjadi dalam suatu pengukuran atau perhitungan. Semakin kecil nilai persentase *error*nya, maka semakin akurat hasil pengukuran tersebut[11]. Untuk menentukan persentase *error* dapat digunakan rumus seperti berikut :

$$\text{Error}(\%) = \frac{(\text{Nilai Sebenarnya} - \text{Nilai Pengukuran})}{\text{Nilai Sebenarnya}} \times 100\% \quad (2)$$

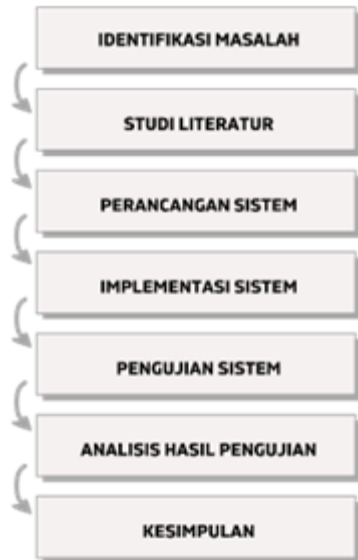
III. METODE

Bab ini memberikan penjelasan rinci tentang metode yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian. Mulai dari perencanaan hingga pelaksanaan, penjelasan ini mencakup semua proses yang dilakukan selama proses penelitian. Bab ini juga akan membahas perancangan sistem, baik perangkat lunak (software) maupun perangkat keras (hardware), termasuk spesifikasi teknis dari setiap komponen yang digunakan. Selain itu, prosedur pengujian sistem yang digunakan untuk memastikan kinerja dan keandalan sistem juga akan dijelaskan secara mendalam. Semua elemen tersebut disusun sehingga memberikan gambaran yang jelas

dan mendalam tentang metodologi yang digunakan dalam penelitian ini.

A. Alur Penelitian

Penelitian ini dirancang dengan alur penelitian sebagai panduan utama dalam pelaksanaannya. Alur ini dibuat untuk memastikan bahwa setiap tahapan penelitian dapat berjalan secara terstruktur dan terkendali, yang mempermudah pencapaian tujuan penelitian. Gambar berikut menunjukkan detail alur penelitian ini.

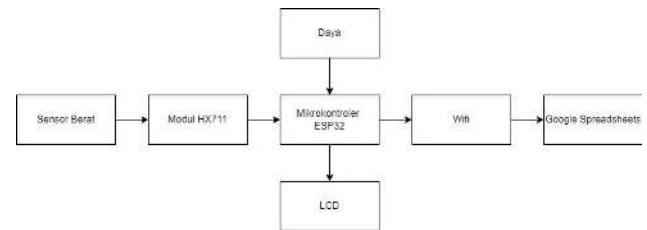


GAMBAR 2
(ALUR PENELITIAN)

Penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah terkait efisiensi dan kemudahan pengujian momen tekuk fitting lampu di Balai Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri Surabaya. Selanjutnya, dilakukan studi literatur untuk mengumpulkan data mengenai alat ukur momen tekuk komersial dan penelitian terdahulu guna mendukung perancangan sistem. Tahap berikutnya adalah perancangan sistem, mencakup desain umum, pemilihan perangkat keras, dan pengembangan perangkat lunak untuk menciptakan sistem yang terintegrasi. Setelah itu, dilakukan implementasi sistem, yaitu pembuatan alat ukur digital yang dikalibrasi dan dihubungkan ke Google Spreadsheet. Sistem kemudian diuji melalui pengujian perangkat keras dan lunak untuk mengevaluasi akurasi dan efisiensi. Hasil pengujian dibandingkan dengan alat analog untuk menganalisis tingkat *error* dan keandalan sistem. Akhirnya, kesimpulan disusun berdasarkan hasil analisis untuk memberikan gambaran efektivitas alat yang dikembangkan.

B. Desain Sistem

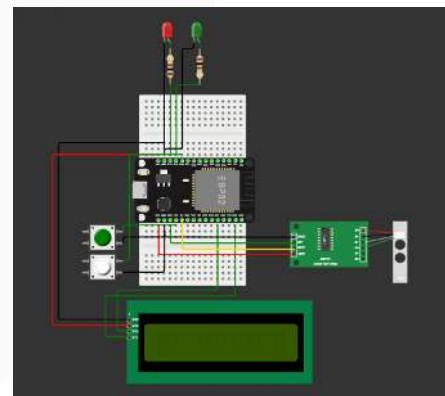
Alat ukur digital momen tekuk Fitting lampu dengan sensor load cell berbasis mikrokontroler ini dirancang dengan beberapa komponen utama. ESP 32 sebagai mikrokontroler yang berperan untuk memproses dan melakukan pengiriman data hasil dari sensor load cell. Sensor load cell digunakan untuk mengukur berat/massa dari lampu pada fitting. Data dari sensor akan dihitung dengan menggunakan rumus momen tekuk untuk kemudian ditampilkan pada LCD dan dikirimkan ke Google Spreadsheet untuk disimpan dan ditinjau kembali.



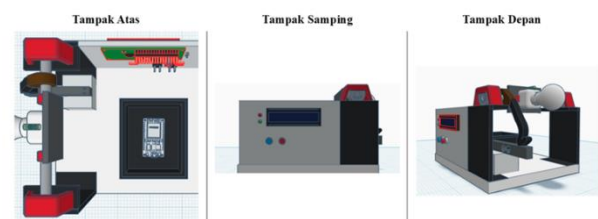
GAMBAR 3
(BLOK DIAGRAM ALAT)

C. Perancangan Perangkat Keras

Desain perangkat keras dari alat ukur digital momen tekuk Fitting lampu dengan sensor load cell berbasis mikrokontroler akan meliputi desain skematik dan desain mekanis. Pada desain skematik alat ukur digital momen tekuk pada fitting lampu menggunakan ESP 32 sebagai mikrokontroler, sensor load cell sebagai pengukur berat lampu, HX711 sebagai modul penguat sinyal dari sensor load cell, LCD untuk menampilkan hasil pengukuran, dua buah LED sebagai indikator hasil pengujian lulus/tidak, resistor sebagai penghambat arus, dan dua push button untuk tare/reset dan sebagai tombol untuk melakukan pengiriman data hasil pengukuran dari esp 32 ke google Spreadsheets. Setiap komponen akan dihubungkan menjadi satu kedalam ESP 32. ESP 32 dipilih karena memiliki fitur wifi yang dapat digunakan untuk mengirimkan data melalui internet dan memiliki banyak pin I/O sehingga mendukung penggunaan sensor ataupun komponen seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Selain dari desain skematik alat ukur digital momen tekuk fitting lampu ini juga terdiri dari desain alat/mekanis. Desain alat ini berupa desain 3D yang dapat menggambarkan bentuk fisik dari alat ukur digital momen tekuk fitting lampu yang akan dibuat seperti pada gambar 5.



GAMBAR 4
(DESAIN SKEMATIK)

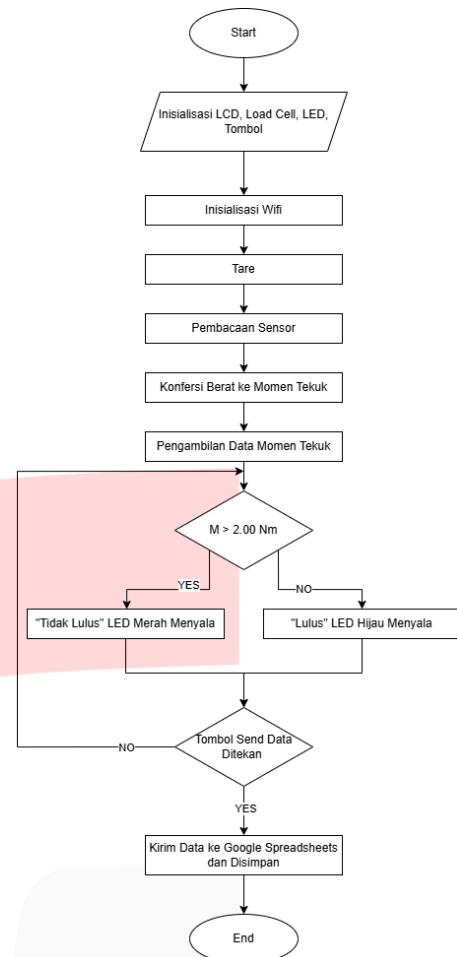


GAMBAR 5
(DESAIN 3D)

Adapun cara penggunaan alat ukur digital momen tekuk fitting lampu berbasis sensor load cell dan mikrokontroler adalah sebagai berikut. Pastikan alat dalam kondisi baik, ditempatkan pada permukaan stabil, dan terhubung ke sumber daya. Periksa tampilan LCD untuk memastikan alat siap digunakan. Lakukan kalibrasi awal dengan menekan tombol tare hingga indikator LCD menunjukkan nilai nol. Pasang lampu pada fitting alat dengan posisi seimbang. Lepaskan besi penopang hingga menyentuh load cell untuk mendeteksi tekanan. Amati angka pada LCD yang menunjukkan besaran gaya, lalu tekan tombol send data untuk menyimpan hasil pengujian ke Google Spreadsheets. Setelah pengujian, lepaskan lampu dengan hati-hati, matikan alat jika tidak digunakan, dan bersihkan dari debu agar tetap dalam kondisi optimal.

D. Perancangan Perangkat Lunak

Desain perangkat lunak digunakan untuk mendukung sistem ini, yang mencakup berbagai komponen dan alur proses, dapat dilihat dengan jelas pada gambar 6 yang terlampir di bawah ini, yang menggambarkan secara detail struktur dan hubungan antar modul dalam sistem tersebut. Gambar 6 menunjukkan bagaimana proses kerja dari sebuah sistem yang digunakan untuk mengukur momen tekuk lampu pada fitting menggunakan sensor berat dan mengirimkan data hasil pengukuran ke Google Spreadsheets



GAMBAR 6
(FLOWCHART PENGUKURAN MOMEN TEKUK
FITTING LAMPU)

E. Kalibrasi

Proses kalibrasi dilakukan untuk memastikan akurasi alat ukur digital momen tekuk fitting lampu berbasis sensor load cell dan mikrokontroler agar hasilnya sebanding dengan alat analog. Tahap pertama adalah kalibrasi sensor load cell, dimulai dengan kalibrasi nol (tare) menggunakan fungsi tare pada HX711 untuk menghilangkan beban awal. Selanjutnya, faktor kalibrasi ditentukan dengan membandingkan nilai raw data dengan bobot yang diketahui, lalu disesuaikan dalam program agar hasil pengukuran dalam satuan gram lebih akurat. Setelah itu, dilakukan pengujian alat secara keseluruhan untuk memastikan sistem berfungsi dengan baik, menampilkan data akurat di LCD, dan dapat mengirim data ke Google Spreadsheets. Tahap terakhir adalah perbandingan dengan alat analog, di mana hasil pengukuran alat digital dibandingkan dengan alat ukur momen tekuk analog di Balai Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri Surabaya. Perbandingan dilakukan menggunakan rumus persentase error dengan toleransi maksimal 5%.

F. Pengujian Sistem

Pada penelitian ini pengujian pada sistem alat ukur digital momen tekuk fitting lampu akan dilakukan dengan beberapa langkah pengujian. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk

memastikan hasil pengukuran pada sistem yang dibuat sudah akurat dengan pengukuran menggunakan alat ukur momen tekuk analog. Selain itu terdapat juga pengujian pada perangkat lunak yang bertujuan untuk memastikan *software* yang digunakan dapat berjalan dengan baik sesuai fungsinya dan dapat mengirimkan atau menerima data hasil pengukuran momen tekuk fitting lampu. Berdasarkan penjelasan tersebut dalam penelitian ini akan dilakukan dua pengujian yaitu pengujian perangkat keras dan pengujian perangkat lunak.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Mikrokontroler ESP 32

Pengujian mikrokontroler bertujuan memastikan ESP32 berfungsi dan terhubung dengan laptop. Pengujian dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan mengunggah program uji coba melalui kabel USB. Hasil pengujian ditampilkan pada serial monitor, membuktikan bahwa ESP32 bekerja dengan baik.

```
load:0x40080400,len:6388
entry 0x400806b4
Writing to pin 2
Writing to pin 4
Writing to pin 5
Writing to pin 12
Writing to pin 13
Writing to pin 14
Writing to pin 15
Writing to pin 16
Writing to pin 17
Writing to pin 18
Writing to pin 19
Writing to pin 21
Writing to pin 22
Writing to pin 23
DAC to pin 25
DAC to pin 26
Writing to pin 27
Writing to pin 32
assertion "heap != NULL && "free() target pointer is
abort() was called at PC 0x400d4e17 on core 1
```

GAMBAR 7

(TAMPILAN SERIAL MONITOR PENGUJIAN ESP 32)

B. Pengujian Sensor Load Cell

Pengujian sensor load cell 1kg dilakukan untuk memastikan akurasi konversi gaya ke berat. Bandul standar (5g, 10g, 20g, 50g) digunakan sebagai acuan, lalu hasilnya dibandingkan dengan berat sebenarnya untuk menghitung *error* dan persentasenya. Faktor kalibrasi HX711 disesuaikan agar hasil pengukuran mendekati nilai sebenarnya. Pengujian dilakukan dengan berbagai bobot untuk memastikan keakuratan alat dalam berbagai kondisi.



GAMBAR 8

(PENGUJIAN DAN KALIBRASI SENSOR LOAD CELL)

TABEL 1
(DATA HASIL DARI PENGUJIAN SENSOR LOAD CELL DENGAN BANDUL TIMBANGAN)

Bandul (g)	Hasil Load Cell (g)	Galat (g)	Error (%)
5	5,01	0,01	0,20%
10	10,03	0,03	0,30%
20	20,06	0,06	0,30%
50	50,15	0,15	0,30%
Rata-rata		0,06	0,28%

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa load cell memiliki akurasi baik dengan galat kecil antara 0,01 g hingga 0,15 g dan persentase *error* rata-rata 0,28%. Galat cenderung meningkat seiring bertambahnya massa, kemungkinan akibat faktor kalibrasi atau non-linearitas sensor. Meskipun demikian, alat tetap andal untuk pengukuran momen tekuk fitting lampu. Untuk meningkatkan akurasi, disarankan rekalisasi berkala dan memastikan lingkungan pengukuran stabil.

C. Hasil Pengujian Pengiriman Data dari ESP 32 ke Google Spreadsheet

TABEL 2
(HASIL UJI COBA PENGIRIMAN DATA)

Waktu	Sampel	Momen Tekuk	Status
21/01/2025 0:24:13	Sampel 1	0,023	Lulus
21/01/2025 0:25:43	Sampel 2	0,023	Lulus
21/01/2025 0:27:40	Sampel 3	0,023	Lulus
21/01/2025 0:28:55	Sampel 4	0,023	Lulus
21/01/2025 0:30:48	Sampel 5	0,023	Lulus

```
00:24:11.187 -> JSON data: {"Berat":23.00,"momen":0.023}
00:24:13.807 -> HTTP Response Code: 302
00:24:13.807 -> Data terkirim.
```

GAMBAR 9

(HASIL PENGIRIMAN DATA ESP32 KE SPREADSHEETS PADA SAMPEL 1)

Berdasarkan tabel 2 dan tampilana serial monitor pada gambar 9, menunjukkan data berhasil dikirim dalam format JSON yang berisi informasi berat dan momen tekuk. Kode HTTP 302 menunjukkan adanya pengalihan URL, dengan pesan "Data terkirim" sebagai konfirmasi. Serial monitor mencatat pengiriman data pada 00:24:11 dan penerimaan pada 00:24:13, dengan waktu proses sekitar 2,62 detik, menandakan pengiriman data ke Spreadsheet berjalan efisien.

D. Data Hasil Pengujian Alat Analog dan Digital

Pengujian dilakukan dengan membandingkan data dari alat analog dan digital, yang kemudian ditampilkan dalam tabel. Titik nol alat analog ditetapkan pada 18 mm, sehingga hasil pengukuran dikoreksi berdasarkan nilai ini agar alat digital dapat menyesuaikan. Perbandingan dilakukan dengan menghitung galat, persentase *error*, dan rata-rata untuk mengevaluasi akurasi alat digital terhadap alat analog dengan menggunakan persamaan :

- Galat (Nm) : Selisih antara nilai sebenarnya (alat analog) dan hasil dari alat digital.

Rumus :

$$\text{Galat} = \text{Nilai Alat Analog} - \text{Nilai Alat Digital} \quad (3)$$

- Persentase *Error* : Persentase kesalahan terhadap nilai sebenarnya

Rumus :

$$\text{Error (\%)} = \frac{(\text{Nilai Sebenarnya} - \text{Nilai Pengukuran})}{\text{Nilai Sebenarnya}} \times 100\%$$

- Rata-rata Galat (Nm) :

$$\text{Rata-rata Galat} = \frac{\sum \text{Galat}}{n} \quad (4)$$

Di mana:

- $\sum$ Galat adalah total galat untuk seluruh sampel.
- n adalah jumlah sampel.
- Rata-rata *Error* (%) :

$$\text{Rata-rata Error\%} = \frac{\sum \text{Error \%}}{n} \quad (5)$$

Di mana:

- $\sum$ *Error* adalah total galat untuk seluruh sampel.
- n adalah jumlah sampel.

1. Lampu P.5142 (LED Bulb capsule, 5W, Merk A)

TABEL 3
(DATA HASIL PENGUJIAN LAMPU P.5142)

Sampel	Momen Tekuk (Nm) Alat Analog	Momen Tekuk (Nm) Alat Digital	Galat (Nm)	Error (%)
Sampel 1	0,012	0,013	0,001	8,33
Sampel 2	0,013	0,013	0	0
Sampel 3	0,012	0,013	0,001	8,33
Sampel 4	0,013	0,013	0	0
Sampel 5	0,013	0,013	0	0
Rata-rata			0,004	3,33%

Dari Tabel hasil pengukuran momen tekuk diatas, dapat terlihat bahwa hasil pengukuran antara alat analog dan digital menunjukkan akurasi yang baik. Namun masih terdapat *error* pada sampel ke 1 dan ke 3. Perhitungan Galat (Nm) dan Persentase *Error* (%) bertujuan untuk menentukan tingkat kesalahan pengukuran pada alat digital dibandingkan dengan alat analog.

2. Lampu P.5140 (LED Bulb bohlam, 12W, Merk A)

TABEL 4
(DATA HASIL PENGUJIAN LAMPU P.5140)

Sampel	Momen Tekuk (Nm) Alat Analog	Momen Tekuk (Nm) Alat Digital	Galat (Nm)	Error (%)
Sampel 6	0,022	0,022	0	0
Sampel 7	0,022	0,022	0	0
Sampel 8	0,022	0,023	0,001	4,55
Sampel 9	0,022	0,022	0	0
Sampel 10	0,022	0,023	0,001	4,55
Rata-rata			0,0004	1,82

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa alat digital memiliki akurasi tinggi karena nilai yang diperoleh hampir sama dengan alat analog. Sebagian besar sampel memiliki galat 0 Nm dan *error* 0%, menandakan kesamaan hasil pengukuran. Namun, dua sampel (8 dan 9) menunjukkan galat 0,001 Nm dengan *error* 4,55%. Secara keseluruhan, rata-rata galat hanya 0,0004 Nm, dengan rata-rata persentase *error* 1,82%, yang masih dalam batas akurasi yang baik.

3. Lampu P.5136 (LED Bulb capsule, 15W, Merk B)

TABEL 5
(DATA HASIL PENGUJIAN LAMPU P.5136)

Sampel	Momen Tekuk (Nm) Alat Analog	Momen Tekuk (Nm) Alat Digital	Galat (Nm)	Error (%)
Sampel 11	0,034	0,033	0,001	2,94
Sampel 12	0,034	0,034	0	0
Sampel 13	0,034	0,034	0	0
Sampel 14	0,035	0,034	0,001	2,86
Sampel 15	0,034	0,034	0	0
Rata-rata			0,0004	1,16

Dari tabel hasil pengukuran momen tekuk, alat digital menunjukkan akurasi yang baik dengan sebagian besar sampel (Sampel 12, 13, dan 15) tidak memiliki galat atau *error*, menandakan kesesuaian pengukuran yang sangat baik dengan alat analog. Namun, pada Sampel 11 dan 14, terdapat galat 0,001 Nm dengan persentase *error* masing-masing 2,94% dan 2,86%, yang masih tergolong rendah. Rata-rata galat tetap kecil, hanya 0,0004 Nm, dengan rata-rata persentase *error* sebesar 1,16%.

4. Lampu P.5130 (LED Bulb capsule, 20W, Merk C)

TABEL 6
(DATA HASIL PENGUKURAN LAMPU P.5130)

Sampel	Momen Tekuk (Nm) Alat Analog	Momen Tekuk (Nm) Alat Digital	Galat (Nm)	Error (%)
Sampel 16	0,048	0,049	0,001	2,08
Sampel 17	0,048	0,048	0	0
Sampel 18	0,048	0,048	0	0
Sampel 19	0,049	0,05	0,001	2,04
Sampel 20	0,048	0,048	0	0
Rata-rata			0,0004	0,62

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sebagian besar sampel, seperti Sampel 17, 18, dan 20, tidak memiliki galat atau *error*, menandakan kesesuaian hasil antara alat digital dan analog. Namun, pada Sampel 16 dan 19, terdapat galat 0,001 Nm dengan persentase *error* masing-masing 2,08% dan 2,04%, masih dalam batas toleransi. Secara keseluruhan, rata-rata galat tetap rendah, hanya 0,0004 Nm, dengan rata-rata persentase *error* yang semakin kecil, yaitu 0,62%.

5. Lampu P.5144 (LED Bulb capsule, 20W, Merk A)

TABEL 7
(DATA HASIL PENGUJIAN LAMPU P.5144)

Sampel	Momen Tekuk (Nm) Alat Analog	Momen Tekuk (Nm) Alat Digital	Galat (Nm)	Error (%)
Sampel 21	0,048	0,047	0,001	2,08
Sampel 22	0,048	0,049	0,001	2,08
Sampel 23	0,049	0,05	0,001	2,04
Sampel 24	0,048	0,048	0	0
Sampel 25	0,049	0,049	0	0
Rata-rata			0,0004	1,24

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa Sampel 24 dan 25 tidak memiliki galat maupun *error*, menandakan kesesuaian pengukuran yang sempurna. Namun, pada Sampel 21, 22, dan 23, terdapat galat 0,001 Nm dengan persentase *error* masing-masing 2,08%, 2,08%, dan 2,04%. Secara keseluruhan, rata-rata galat tetap kecil, yaitu 0,0004 Nm, dengan rata-rata persentase *error* sebesar 1,24%.

6. Lampu P.5147 (LED Bulb bohlam, 12W, Merk D)

TABEL 8
(DATA HASIL PENGUJIAN LAMPU P.15147)

Sampel	Momen Tekuk (Nm) Alat Analog	Momen Tekuk (Nm) Alat Digital	Galat (Nm)	Error (%)
Sampel 26	0,021	0,021	0	0
Sampel 27	0,021	0,022	0,001	4,76
Sampel 28	0,021	0,021	0	0
Sampel 29	0,021	0,021	0	0
Sampel 30	0,021	0,021	0	0
Rata-rata			0,0002	0,95

Hasil pengukuran momen tekuk untuk Sampel 26 hingga 30 menunjukkan bahwa alat digital memiliki akurasi yang sangat baik dibandingkan alat analog. Empat sampel (26, 28, 29, dan 30) tidak memiliki galat maupun *error*, menandakan kesesuaian pengukuran yang sempurna. Namun, pada Sampel 27, terdapat galat 0,001 Nm dengan persentase *error* 4,76%, sedikit lebih tinggi dari rata-rata sebelumnya. Secara keseluruhan, rata-rata galat tetap sangat kecil, hanya 0,0002 Nm, dengan rata-rata persentase *error* 0,95%.

E. Analisis

Pengujian ini menilai kemampuan alat digital dalam mengukur momen tekuk fitting lampu dengan membandingkannya terhadap alat analog sebagai referensi. Pengukuran dilakukan pada 30 sampel dengan 6 variasi merk, bentuk, dan daya. Hasil menunjukkan rata-rata galat dan *error* masih dalam toleransi 5%, dengan contoh sampel P.5142 memiliki galat 0,0004 Nm dan *error* 3,33%, sedangkan P.5140 memiliki galat yang sama dengan *error* 1,82%. Beberapa faktor yang memengaruhi akurasi antara lain kalibrasi sensor, stabilitas mekanik, kondisi elektronik, dan faktor lingkungan. Alat digital juga mampu mendeteksi apakah momen tekuk lampu melebihi ambang batas 2 Nm sesuai standar SNI IEC 62560:2015, dengan indikator LED merah dan hijau memberikan status kelulusan secara langsung. Secara keseluruhan, alat digital memberikan hasil yang mendekati alat analog, dengan keunggulan tambahan seperti penyimpanan data, efisiensi transmisi, dan kemudahan penggunaan, sehingga dapat meningkatkan pengujian di Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri Surabaya.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, alat ukur digital momen tekuk fitting lampu yang dikembangkan menggunakan sensor Load Cell dan mikrokontroler ESP32 menunjukkan tingkat akurasi yang baik, dengan rata-rata kesalahan pengukuran sebesar 3,33% untuk lampu P.5142 dan 1,82% untuk lampu P.5140 dibandingkan dengan alat analog. Alat ini tidak hanya mampu memberikan hasil pengukuran yang lebih cepat dan akurat, tetapi juga dilengkapi dengan fitur pencatatan otomatis ke Google Spreadsheet, yang memungkinkan penyimpanan dan analisis data secara lebih efisien. Dengan rata-rata waktu pengiriman

data sekitar 2,62 detik, sistem ini meningkatkan efisiensi dalam proses pengujian dibandingkan dengan metode manual yang memerlukan pencatatan hasil secara konvensional. Indikator LED yang digunakan untuk menunjukkan status pengujian juga berfungsi dengan baik, memberikan informasi secara real-time apakah fitting lampu lulus atau tidak berdasarkan standar yang telah ditetapkan. Selain itu, alat ini mampu mendeteksi apakah momen tekuk suatu lampu melebihi ambang batas 2 Nm sesuai dengan standar SNI IEC 62560:2015, sehingga dapat membantu memastikan kualitas dan keamanan produk sebelum dipasarkan. Namun, masih terdapat beberapa kasus di mana kesalahan pengukuran lebih besar, seperti pada lampu P.5142 dengan persentase error mencapai 8,33%. Hal ini menunjukkan bahwa alat masih memerlukan peningkatan stabilitas sensor dan kalibrasi lebih lanjut agar akurasi tetap konsisten dalam berbagai kondisi pengujian. Dengan pengembangan lebih lanjut, alat ini memiliki potensi untuk diadopsi secara lebih luas dalam industri pengujian lampu, khususnya dalam meningkatkan standar kualitas dan keselamatan produk sebelum dipasarkan

REFERENSI

- [1] Badan Standarisasi Nasional, "RenstraBSN_2005_20091," *Badan Standardisasi Nasional*, Feb. 2005.
- [2] Badan Standarisasi Nasional, "28250_SK 348_KEP_BSN_12_2016," *Badan Standardisasi Nasional*, Dec. 2016.
- [3] G. Shice, "62560 6.2 Peralatan Uji IEC Massa Momen Tekuk Yang Diberikan Oleh Lampu," *ptestequipment.com*.
- [4] R. Sulaiman, Z. Azhar, and T. Christy, "Perancangan Sistem Alat Pemantauan Cairan Infus Pada Klinik Utama Tanjung Balai Berbasis Nodemcu," *JUTSI (Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi)*, vol. 1, no. 3, pp. 211–218, Oct. 2021, doi: 10.33330/jutsi.v1i3.1310.
- [5] R. Gumilar Riyansyah, D. Wahiddin, and D. Sulistya Kusumaningrum, "Smart Monitoring Alat Infus Pasien Berbasis Internet Of Things (IoT) Menggunakan Mikrokontroler ESP32," vol. II, no. 1, 2021.
- [6] M. R. Hidayat and N. Fithri, "RANCANG BANGUN MONITORING PRESENSI DAN SUHU TUBUH BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)," *Rang Teknik Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 238–244, Mar. 2023, doi: 10.31869/rtj.v6i1.4202.
- [7] S. Mutiara Cahyani, "ALAT PENGUKURAN DIGITAL MOMEN TEKUK FITING LAMPU DENGAN SENSOR LOAD CELL BERBASIS ARDUINO UNO," *Jember*, Jul. 2018. Accessed: May 24, 2024. [Online]. Available: <https://repository.unej.ac.id/>
- [8] Webduta, "Pengujian Lampu Swa-Ballast-Safety Berdasarkan SNI 04-6504-2001 - Duta Training," *Duta Training Education Zone*. Accessed: May 22, 2024. [Online]. Available: <https://duta-training.com/pengujian-lampu-swa-ballast-safety-berdasarkan-sni-04-6504-2001/>
- [9] R. Ariyana and N. Fadillah, "10. Publikasi SNI wajib- Lampu Swabalast," *Pusat Informasi dan Dokumentasi Standarisasi - BSN*, 2017.
- [10] M. Fitri, "Pengaruh Beban Lentur Pada Poros Stainless Steel Terhadap Siklus Kegagalan Fatik," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 09, no. 3, 2020.
- [11] J. D. Stone *et al.*, "Assessing the Accuracy of Popular Commercial Technologies That Measure Resting Heart Rate and Heart Rate Variability," *Front Sports Act Living*, vol. 3, Mar. 2021, doi: 10.3389/fspor.2021.585870.