

**Rancang Bangun Alat Ukur Defleksi Batang Kantilever
Menggunakan Sensor *Strain Gauge***

*Design and Manufacturing of The Cantilever Beam Deflections
Measurement Apparatus Using Strain Gauge Sensor*

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Sandi Julian

NPM: 203030044



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

Rancang Bangun Alat Ukur Defleksi Batang Kantilever Menggunakan *Strain Gauge*

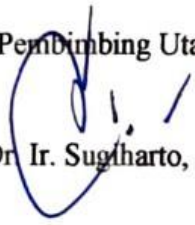


Nama : Sandi Julian


NPM : 203030044



Pembimbing Utama


Dr. Ir. Sugiharto, MT.

Pembimbing Pendamping


Dr. Ir. Gatot Santoso, MT.

ABSTRAK

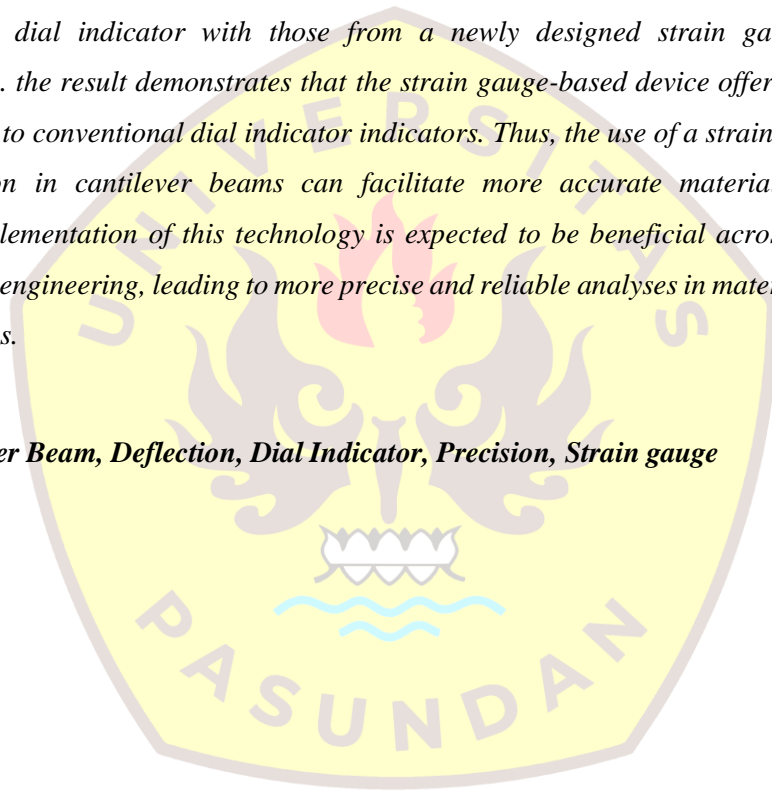
Penelitian ini membahas mengenai pengujian defleksi batang kantilever yang sering dilakukan dalam keilmuan teknik mesin untuk memperhitungkan kekuatan spesimen atau benda. Alat ukur defleksi batang kantilever biasanya menggunakan alat seperti dial indikator. Namun, terdapat perbedaan antara hasil pengujian menggunakan metode eksperimental seperti dial indikator dengan data hasil analitik. Hal ini dapat terjadi oleh banyak faktor internal maupun eksternal pada saat pengukuran. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun alat ukur defleksi kantilever dengan memanfaatkan sensor *strain gauge*. Diharapkan alat ukur ini dapat memberikan hasil pengujian defleksi yang lebih presisi sehingga evaluasi kekuatan material dapat dilakukan dengan presisi yang lebih tinggi. Penelitian ini membahas mengenai pengujian defleksi batang kantilever yang sering dilakukan dalam keilmuan teknik mesin untuk memperhitungkan kekuatan spesimen atau benda. Alat ukur defleksi batang kantilever biasanya menggunakan alat seperti dial indikator. Namun, terdapat perbedaan antara hasil pengujian menggunakan metode eksperimental seperti dial indikator dengan data hasil metode analitik. Hal ini dapat terjadi oleh banyak faktor internal maupun eksternal pada saat pengukuran. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun alat ukur defleksi batang kantilever dengan memanfaatkan sensor *strain gauge*. Diharapkan alat ukur ini dapat memberikan hasil pengujian defleksi yang lebih presisi sehingga evaluasi kekuatan material dapat dilakukan dengan presisi yang lebih tinggi. Metode penelitian ini melibatkan perbandingan hasil pengukuran defleksi menggunakan dial indikator dan hasil pengukuran yang dihasilkan oleh alat ukur yang dirancang menggunakan sensor *strain gauge*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat ukur berbasis *strain gauge* memiliki presisi yang lebih baik dibandingkan dengan dial indikator tradisional. Dengan demikian, penggunaan *strain gauge* sebagai alat ukur defleksi pada batang kantilever dapat memudahkan pengukuran dalam evaluasi kekuatan material. Implementasi teknologi ini diharapkan dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang teknik mesin, sehingga menghasilkan analisis yang lebih tepat dan dapat diandalkan dalam proses perancangan dan pengujian material.

Kata Kunci: Batang Kantilever, Defleksi, Dial Indikator, Presisi, *Strain Gauge*

ABSTRACT

This research discusses the testing of cantilever beam deflection, a common procedure in mechanical engineering for assessing the stiffness of specimens or type of profile steel structure. Then, cantilever deflection is measured using devices such as dial indicators. However, discrepancies often occur between experimental measurements obtained with dial indicators and analytical results. These discrepancies can be attributed to various internal and external factors affecting the measurement process. The objective of this study is to design and manufacture a cantilever deflection measurement device utilizing strain gauge sensors. The aim is to achieve more precise deflection measurement, thereby enhancing the accuracy of material strength evaluations. the research methodology involves comparing deflection measurements obtained using a traditional dial indicator with those from a newly designed strain gauge-based measurement device. the result demonstrates that the strain gauge-based device offers superior precision compared to conventional dial indicator indicators. Thus, the use of a strain gauge for measuring deflection in cantilever beams can facilitate more accurate material strength assessment. the implementation of this technology is expected to be beneficial across various fields of mechanical engineering, leading to more precise and reliable analyses in material design and testing processes.

Keywords: Cantilever Beam, Deflection, Dial Indicator, Precision, Strain gauge



DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	i
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
ABSTRAK	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Manfaat.....	3
1.5. Batasan Masalah	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
2.1. Kajian Penelitian Sebelumnya	5
2.2. Defleksi	7
2.3. <i>Strain Gauge</i>	14
2.4. Jembatan <i>Wheatstone</i>	15
2.5. Modul HX711.....	17
2.6. Arduino UNO	19
2.7. LCD (<i>Liquid Cristal Display</i>).....	20
2.8. Arduino IDE	21
2.9. Kuningan	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1. Tahapan Penelitian.....	23
3.2. Jadwal Kegiatan.....	24
3.3. Tempat Penelitian	25
3.4. Konseptual Desain.....	25
3.5. Material Dan Proses Perakitan	30
3.6. Rincian Anggaran Pembelian Dan Proses Produksi	31
3.7. Setup Pengujian	32
3.8. Metode Pengujian	34

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1. Hasil Pengujian.....	35
4.2. Pengolahan Dan Analisis Data.....	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	70
5.1. Kesimpulan.....	70
5.2. Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA.....	72
LAMPIRAN.....	74



BAB I PENDAHULUAN

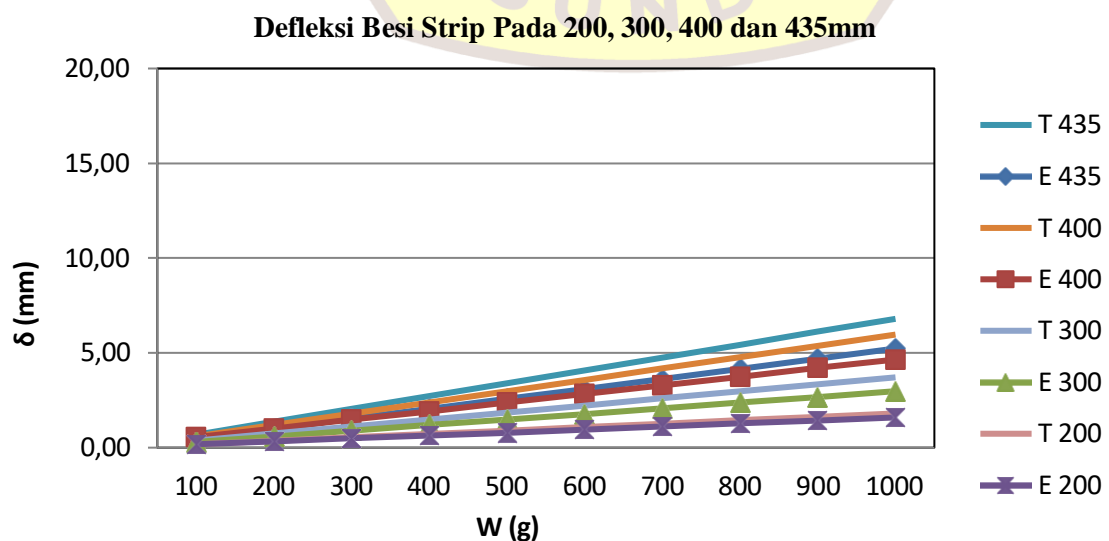
1.1. Latar Belakang

Dalam keilmuan teknik mesin, pengujian defleksi merupakan salah satu hal yang sering dilakukan dalam memperhitungkan kekuatan spesimen atau benda [1]. Alat ukur defleksi batang kantilever biasanya menggunakan alat-alat seperti dial indikator atau sebagainya. Akan tetapi, masih terdapat perbedaan dari hasil pengujian menggunakan metode eksperimental seperti dial indikator dengan data hasil perhitungan rumus. Data yang dapat menjadi rujukan ditunjukkan pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Perbandingan Pengujian Dan Perhitungan Defleksi [2]

W (g)	Perbandingan δ (mm)							
	X ₁ (200)		X ₂ (300)		X ₃ (400)		X ₄ (435)	
	T	ΣE	T	ΣE	T	ΣE	T	ΣE
100	0,18	0,18	0,37	0,30	0,60	0,55	0,68	0,48
200	0,36	0,34	0,74	0,59	1,19	1,01	1,36	0,98
300	0,54	0,49	1,11	0,89	1,79	1,48	2,04	1,54
400	0,72	0,64	1,48	1,19	2,39	1,92	2,72	2,04
500	0,90	0,79	1,85	1,48	2,98	2,39	3,40	2,58
600	1,08	0,96	2,22	1,78	3,58	2,83	4,08	3,09
700	1,26	1,11	2,60	2,08	4,18	3,28	4,76	3,63
800	1,44	1,28	2,97	2,38	4,77	3,74	5,44	4,16
900	1,62	1,43	3,34	2,68	5,37	4,20	6,11	4,70
1000	1,81	1,59	3,71	2,98	5,96	4,65	6,79	5,23

Dalam tabel 1 ditunjukkan bahwa masih terdapat perbedaan dalam hasil pengujian defleksi kantilever menggunakan dial indikator dengan perhitungan rumus. Hal ini dapat terjadi oleh banyak faktor internal maupun eksternal pada saat pengukuran.



Gambar 1. Grafik Perbandingan Pengujian Dan Perhitungan Defleksi [2]

Pada gambar 1 dapat dilihat dengan adanya grafik tersebut ada perbedaan antara hasil pengukuran dengan dial indikator dan metode analitik. Semakin besar beban yang diujikan, semakin besar pula perbedaan hasil perbandingan antara pengukuran dial indikator dan metode analitik . Keterampilan dalam pemakaian dial indikator sangat diperlukan di laboratorium. Oleh sebab itu, dibutuhkan penggunaan alat ukur yang dapat digunakan dengan mudah dan hasil yang akurat oleh semua orang. Secara teori, sensor *strain gauge* dapat menjadi metode yang efektif untuk mengukur defleksi pada spesimen atau benda. Namun, pengembangan teknologi ini masih belum optimal terkait dengan presisi pengujian yang dapat memengaruhi keakuratan kekuatan material. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian lebih lanjut dalam penggunaan alat ukur tersebut guna mengetahui tingkat presisi dan akurasi pengujian defleksi terhadap batang kantilver [2]. Dalam penelitian ini juga akan membahas mengenai persamaan yang sering digunakan dalam perhitungan defleksi, penelitian ini akan mencoba membuktikan ketidakakuratan persamaan yang sering digunakan dalam perhitungan defleksi dan membandingkan hasil persamaan tersebut dengan hasil percobaan yang akan dilakukan. Penelitian ini memiliki tujuan yaitu untuk merancang dan membangun alat ukur defleksi kantilever dengan memanfaatkan sensor *strain gauge*. Dengan adanya alat ukur ini, diharapkan dapat diperoleh metode pengujian defleksi yang lebih akurat, sehingga evaluasi kekuatan material dapat dilakukan dengan hasil presisi yang lebih tinggi.

1.2. Rumusan Masalah

Dalam skripsi ini ada beberapa rumusan masalah yang ditemukan oleh penulis diantaranya:

- a. Bagaimana perancangan alat ukur defleksi batang kantilever dengan sensor *strain gauge*.
- b. Apa saja komponen-komponen utama dalam penelitian alat ukur tersebut untuk pengujian defleksi.
- c. Bagaimana pemanfaatan sensor *strain gauge* dalam keakuratan hasil pengujian defleksi pada batang kantilever dibandingkan dengan metode pengujian konvensional.

1.3. Tujuan

Dalam skripsi ini ada beberapa tujuan yang ditentukan oleh penulis diantaranya:

- a. Mengembangkan alat ukur defleksi batang kantilever dengan sensor *strain gauge* yang memudahkan dalam penggunaan pengukuran defleksi.
- b. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi akurasi dan presisi pengujian defleksi.
- c. Mengevaluasi kinerja alat ukur defleksi batang kantilever menggunakan *strain gauge*.

1.4. Manfaat

Dalam skripsi ini ada beberapa manfaat yang ditemukan oleh penulis diantaranya:

- a. Hasil penelitian dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan presisi pengujian defleksi batang kantilever. Sehingga, hasil evaluasi kekuatan material menjadi lebih akurat dan dapat diandalkan.
- b. Alat ukur ini dapat memudahkan pembacaan dan penyimpanan data hasil pengukuran defleksi dengan memperkenalkan penggunaan sensor *strain gauge* yang efisien.
- c. Alat ukur ini dapat memudahkan pengambilan data kuantitas dan kualitas desain struktur. Sehingga, struktur dapat dievaluasi dengan lebih tepat dan efektif.
- d. Peningkatan presisi pengujian defleksi dapat membantu dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas pada berbagai industri yaitu industri konstruksi, manufaktur dan rekayasa.
- e. Alat ukur ini dapat memudahkan dalam pengambilan data pada keamanan struktural. Karena, desain struktur dapat dianalisis dan dievaluasi dengan lebih teliti.

1.5. Batasan Masalah

Dalam skripsi ini ada beberapa batasan masalah yang ditentukan oleh penulis diantaranya:

- a. Penelitian ini terbatas pada pengujian defleksi batang kantilever pada struktur dengan batang sepanjang 450mm, lebar 50mm dan tebal 4mm.
- b. Lingkungan pengujian dibatasi pada kondisi laboratorium dan tidak mempertimbangkan faktor-faktor lingkungan eksternal yang dapat memengaruhi hasil pengujian.
- c. Sistem elektronik dan sensor lainnya yang tidak berhubungan dengan penelitian ini dianggap di luar cakupan.
- d. Penelitian ini terbatas pada periode waktu tertentu dan tidak melibatkan pemantauan jangka panjang terhadap kinerja alat ukur defleksi.

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam sistematika penulisan skripsi ini memiliki 5 (lima) bab, daftar pustaka dan lampiran. Isi masing-masing bab tersebut diantaranya:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II STUDI LITERATUR

Bab ini menjelaskan tentang defleksi, *strain gauge*, jembatan *wheatstone*, modul HX711, arduino UNO, LCD (*Liquid Cristal Display*), arduino IDE dan kuningin.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahapan penelitian, jadwal kegiatan, tempat penelitian, konseptual desain, material dan proses perakitan, setup pengujian dan metode pengolahan data hasil pengujian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil pengujian dan pengolahan data serta pembahasan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dan saran.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka tentang buku acuan, jurnal atau artikel yang digunakan penulis untuk referensi atau rujukan mengenai penelitian dalam skripsi ini.

LAMPIRAN

Lampiran berisikan tentang foto kegiatan, gambar kerja dan data hasil pengujian.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian alat ukur defleksi batang kantilever menggunakan *strain gauge* dengan berbagai metode, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Pengembangan alat ukur defleksi batang kantilever dengan sensor *strain gauge* terbukti memudahkan dalam pengukuran defleksi. Alat ini dirancang dengan menggunakan sensor *strain gauge* yang terhubung dengan modul HX711 dan Arduino UNO untuk pemrograman serta menampilkan hasil melalui LCD. Dengan demikian, alat ini tidak hanya meningkatkan kemudahan penggunaan tetapi juga memungkinkan pengukuran defleksi.
- b. Pengujian menunjukkan beberapa faktor yang mempengaruhi akurasi dan presisi pengukuran defleksi. Faktor pertama adalah kekakuan batang, di mana spesimen dengan kekakuan tinggi menunjukkan defleksi yang lebih rendah, sedangkan spesimen dengan kekakuan rendah menunjukkan defleksi yang lebih tinggi. Faktor kedua adalah gaya eksternal, di mana defleksi berbanding lurus dengan gaya eksternal yang diterapkan. Semakin besar gaya yang diterapkan, semakin besar defleksi yang dihasilkan. Faktor Ketiga adalah metode pengujian yang dilakukan, dimana metode pengujian memberikan hasil defleksi yang relatif berbeda tergantung titik pengujian defleksi yang dipilih.
- c. Kinerja metode pengujian defleksi bervariasi tergantung pada titik pengujian, Ansys dan SW menunjukkan performa yang baik pada titik 450, SG unggul pada titik 350, sementara metode analitik lebih baik pada titik 100. Namun, pada titik 225, semua metode kecuali metode analitik menunjukkan performa yang hampir sama, dengan metode analitik mengalami *error* yang lebih besar. Hal ini menunjukkan pentingnya pemilihan metode yang tepat berdasarkan titik pengujian spesifik untuk mendapatkan hasil yang paling presisi. Ketika nilai *error* rata-rata yang dihitung lebih kecil dibandingkan dengan metode yang lain, yang mana semakin kecil *error* rata-rata yang dihitung semakin mendekati data aktual pengukuran defleksi yang dihasilkan dari dial indikator.

Secara keseluruhan, alat ukur defleksi batang kantilever menggunakan sensor *strain gauge* menunjukkan hasil yang valid dan dapat diandalkan.

5.2. Saran

Berdasarkan kendala atau masalah yang diidentifikasi, berikut adalah saran untuk meningkatkan validitas dan relevansi penelitian:

- a. Penelitian ini terbatas pada batang uji dengan material kuningan serta dimensi panjang 450mm, lebar 50mm dan tebal 4mm. Untuk meningkatkan validitas dan generalisasi hasil, disarankan untuk melakukan pengujian pada struktur dengan berbagai dimensi, material dan tumpuan. Hal ini akan membantu memahami bagaimana dimensi, material dan tumpuan pada batang kantilever mempengaruhi akurasi serta presisi pengukuran defleksi menggunakan *strain gauge*.
- b. Lingkungan pengujian dalam penelitian ini dibatasi pada kondisi laboratorium. Pengujian tambahan di berbagai kondisi lingkungan eksternal seperti temperatur ekstrem, kelembaban tinggi dan paparan sinar UV, perlu dilakukan untuk mengevaluasi robustitas alat ukur defleksi dalam kondisi nyata. Ini akan memberikan gambaran lebih komprehensif tentang kinerja alat di berbagai situasi.
- c. Penelitian ini tidak mencakup sistem elektronik dan sensor lainnya. Disarankan untuk mengeksplorasi integrasi *strain gauge* dengan sistem elektronik dan sensor lain seperti sensor temperatur atau kelembaban, untuk mengkompensasi faktor-faktor eksternal yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Pendekatan ini dapat meningkatkan akurasi dan reliabilitas data yang diperoleh.
- d. Penelitian ini terbatas pada periode waktu tertentu tanpa melibatkan pemantauan jangka panjang. Disarankan untuk melakukan studi jangka panjang untuk mengevaluasi stabilitas dan keandalan alat ukur defleksi dalam periode penggunaan yang lebih lama. Pemantauan ini akan membantu mengidentifikasi potensi degradasi performa alat dan memastikan keberlanjutan akurasi pengukuran dari waktu ke waktu.

Dengan menerapkan saran-saran ini, penelitian dapat menjadi lebih komprehensif, relevan dan dapat dipercaya dalam mengembangkan alat ukur defleksi batang kantilever dengan *strain gauge*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Bakri, "Kajian Teoritis dan Eksperimental Defleksi Pada Balok Komposit Serat Sabut Kelapa/Poliester," Aug. 2015.
- [2] N. Yusuf, Hariadi, and A. S. Agung Tawar, "Perbandingan Eksperimen Defleksi Batang Kantilever Berprofil Strip Terhadap Persamaan Teoritis Untuk Bahan Fe dan Al," pp. 1–6, 2014.
- [3] F. Adinata, A. Lubis, A. Ansyori, and T. Ojahan, "Perancangan Alat Uji Defleksi Batang Kantilever Fleksibel," 2021.
- [4] M. P. Sulistyanto, "Pengolahan Sinyal Load Cell 5kg," 2016.
- [5] E. K. Pangestuti, W. D. Fitriyandi, F. A. Ramadhan, and M. N. A. Azman, "Analysis Of The Addition Of Steel Plates Reviewed to The Compresivve Strength Capacity Of The T-Beam," *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, vol. 25, no. 1, pp. 27–33, Apr. 2023, doi: 10.15294/jtsp.v25i1.42863.
- [6] A. Faoji, K. A. Sambowo, K. Pt, W. Karya, P. T. Wika, and R. Konstruksi, "Perbandingan Tumpuan Jepit Dan Sendi Pada Struktur *Power House* Ditinjau Dari Segi Efisiensi Material Dan Biaya (Studi Kasus Proyek Pltmg Seram Peaker)," 2016.
- [7] E. Hendra, "Analisa Defleksi Struktur Tower Transmisi Menggunakan Metode Elemen Hingga," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 362–371, Apr. 2012, <https://doi.org/10.21776/jrm.v3i2.160>.
- [8] Sugiharto, S. Gatot, H. Rachmad, T. Bukti, S. Toto, "Numerical Analysis in Development of a CrossSectional Model of the "C" Profile Cold-Formed Steel SNI-1729:2015," *Proceedings of the 2nd International Conference on Science, Technology, and Modern Society*, vol. 576, pp. 123-126, 2021, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.
- [9] J. Jahirwan, "Analisis Pengaruh Letak Bahan terhadap Defleksi Balok Segi Empat dengan Tumpuan Engsel - Roll – Roll," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 3, pp. 167-170, Dec. 2015, <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2015.006.03.5>.
- [10] B. Ibnu Malik, S. Gatot, "Pengembangan Model Penampang Profil Baja Struktur Ringan Profil C Sni-8399: 2017 Dalam Usaha Peningkatan Nilai Kekakuan-Nya (Pengujian Beam)," *Repository Unpas*, Dec. 2022, <http://repository.unpas.ac.id/id/eprint/61874>.
- [11] S. Nurdiana, C. Henry, "Analisa Defleksi Pada Alat Angkat Suar Bakar Menggunakan Software Autodesk Inventor Dengan Modifikasi Desain Ideal," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 09, no. 1, pp. 50-56, Feb. 2020, <https://doi.org/10.22441/jtm.v9i1.7899>.

- [12] W. Ardi, A. Abdul, R. Heru Santoso Budi, "Studi Pengaruh Perubahan Sudut Head Tube dan Top Tube Pada Rangka Sepeda Balap terhadap Defleksi pada Fork dengan Metode Explicit Dynamics Elemen Hingga," *Journal of Mechanical Design and Testing*, vol. 1, no. 1, pp. 15-23, Mar. 2019, <https://doi.org/10.22146/jmdt.46741>.
- [13] M. Mustafa, "Kaji Eksperimental dan Numerik Defleksi Material Kuningan dengan Variasi Posisi Pembebanan," *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, vol. 8, no. 1, pp. 22-30, Apr. 2010, <https://doi.org/10.31963/sinergi.v8i1.1051>.
- [14] M. Jamal, S. Tono, "Analisis Defleksi Dan Kekuatan Pada Steering Stem Sepeda Motor Dengan Metode Simulasi Elemen Hingga," *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 17, no. 1, pp. 1-117, Apr. 2022, <https://doi.org/10.36289/jtmi.v17i1.296>.
- [15] K. Lutfan, Iqbal, "Analisa Masalah Defleksi Pada Struktur Baja Ringan Dengan Profil Baja Ringan Tipe Kanal," *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 17, no. 2, pp. 106-131, Apr. 2021.
- [16] K. Ojo, H. Ismoyo, S. Agus, Y. Ian, A. Nur, "Analisis Dan Optimasi Struktur Sasis Bus Dengan Batasan Tegangan Maksimum Dan Defleksi Pada Beban Maksimum," *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 14, no. 2, pp. 37-71, Oct. 2019, <https://doi.org/10.36289/jtmi.v14i2.139>.
- [17] Y. M. Sianturi, S. Tangkuman, and I. Rondonuwu, "Analisis Defleksi Benda Kerja Ditinjau Dari Kedalaman Potong Pada Proses Bubut."
- [18] A. Bima Pamungkas, R. Ade Pradana, and R. M. Yasi, "Resistance Value Analysis Study using the Wheatstone bridge circuit method and the Circuit Wizard and Proteus 8 simulators," 2023.
- [19] O. Farid, S. Hananto, "Rancang Bangun Sensor Viskositas Cairan Menggunakan *Strain gauge* Dengan Prinsip Silinder Konsentris," 2013.
- [20] N. N. Sam, M. Rifaldi, N. R. Wibowo, M. Nur, and P. Bosowa, "Rancang Bangun Modul Praktik Load Cell dengan Kapasitas 20 Kg Berbasis Arduino Nano," *Mechatronics Journal in Professional and Entrepreneur*, vol. 2, no. 1, pp. 21-26, Jun. 2020.
- [21] P. Menengah Mahir, "Pengenalan Arduino," 2011.
- [22] M. Aziz Abdul, "Pengaruh Pembebanan Lateral-Aksial Terhadap Nilai Defleksi Dan Tahanan Lateral Ultimit Pondasi Tiang Dengan Metode Elemen Hingga," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 3, no. 4, pp. 105-130, Mar. 2022.
- [23] S. Leonardus, A. Agustinus, "Pengaruh Kapasitas Penampang Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi Terhadap Defleksi Maksimum," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 19, no. 2, pp. 1-6, 2020.

- [24] B. Altiyonica, M. Sabri, "Kajian Simulasi Defleksi pada Ban Pola RIB-LUG Directional dengan Ansys 17.2," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 2, no. 4, pp. 78-99, 2019, <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/16065>.
- [25] K. Robbi Adriansyah, "Perilaku Creep Balok Laminated Veener Lumber Kayu Sengon (Paraserianthes Falcataria) Dengan Tumpuan Kantilever," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 2. No. 9, pp. 20-47, 2013.
- [26] S. Agus, "Disain Kekuatan Sambungan Hoop Pillar Dan Floor Bearer Pada Struktur Rangka Bus Menggunakan Solidworks," *Jurnal Teknik Industri, Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, vol. 9, no. 1, pp. 657- 670, 2018, <https://doi.org/10.24176/simet.v9i1.2023>.
- [27] Sugiharto, H. Rachmad, T. Bukti, "Development Of The Profile Cross-Sectional Model Of Lightweight Steel Structure To Improve The Value Of Stiffness," vol. 15, no. 1, pp. 1-5, Apr. 2020, <https://doi.org/10.36289/jtmi.v15i1.150>.
- [28] H. Patricia, T. Leo S, L. Sunarjo, "Analisis Pengaruh Panjang Profil Terhadap Kekuatan Hexagonal Castellated Beam Dengan Metode Elemen Hingga," *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol. 3, no. 1, pp. 1-10, Feb. 2020.
- [29] D. Triyanto, S. Bahri, J. Rekeyasa Sistem Komputer, and J. H. Hadari Nawawi Pontianak, "Protoype Sistem Parkir Mobil Menggunakan Sensor Load Cell Dengan Arduino Mega 2560 Berbasis Android," 2020.
- [30] Jakaria, D. Ahmad, and M. R. Fauzi, "Aplikasi Smartphone Dengan Perintah Suara Untuk Mengendalikan Saklar Listrik Menggunakan Arduino," *Jurnal Teknologi Indonesia*, vol. 8, no. 1, 2020.
- [31] Nugroho Eko, "Pengaruh Unsur Alumunium Dalam Kuningan Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro," pp. 1-6, 2015.
- [32] S. Sufiyanto, "Kaji Teoritik Perubahan Panjang Plat Penguat Terhadap Besarnya Defleksi Yang Terjadi Pada Balok," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 1, no. 1, pp. 35-42, 2005, <https://doi.org/10.26905/jtmt.v1i1.4431>.
- [33] S. Ghea, H. Priyagung, C. Ismi, "Analisis Pengaruh Bentuk Supporting Profile Terhadap Defleksi Dan Tegangan Maksimum Pada Leg Support Bejana Tekan Vertikal," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 18, no. 1, pp. 105-109, 2022.
- [34] E. Supriyanto *et al.*, "Sistem Pengukuran Defleksi Crankshaft Dengan Visualisasi Pola Defleksi," 2022.
- [35] Setiawan Hera, "Pengujian Tarik, Kekerasan Dan Struktur Mikro Produk Cor Propeler Kuningan," 2013.