

Analisis Impak Tegangan dan Regangan pada Spesimen Batang Marka Jalan Menggunakan *Air Gun Compressor*

Zufri Hasrudy Siregar^{1✉}, Mawardi², Andri Ramadhan³, Prinsi Rigitta⁴, Simon Petrus Simorangkir⁵, Diana Suita⁶

^{1, 2, 3, 4} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Al-Azhar Medan, Indonesia

⁵ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Asahan, Medan, Indonesia

⁶ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Komputer, Universitas Harapan Medan, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 26-12-2023

Direvisi : 28-12-2023

Diterima : 01-01-2024

Kata Kunci:

Air Gun Compressor, Impak, Tegangan, Regangan, Spesimen Batang

Keywords :

Air Gun Compressor, Impact, Stress, Strain, Specimen Rod.

ABSTRAK

Marka jalan harus memberikan rambu dan informasi yang jelas tentang kondisi jalan, tidak hanya tentang material yang digunakan tetapi juga tentang lalu lintas dan kondisi jalan. Rusaknya marka jalan disebabkan perubahan suhu, kelembaban, dan tekanan sehingga perlu material yang kuat. *Concrete Foam* dengan batang 25 cm merupakan objek penelitian ini. Metode penelitian ini menggunakan *Air Gun Compressor* dan *strain gauge* pada spesimen untuk menghitung nilai *stress* pada spesimen. Tekanan maksimum 0,3 MPa, dan jarak antara pipa stiker dan *input bar* adalah 25 cm, dengan ketinggian 183 mm. Hasil penelitian bahwa jarak impak meningkatkan amplitudo tegangan, dengan nilai impak, penuh, dan tidak berubah, dan tiga kali percobaan dilakukan pada berbagai sampel dengan ID 25 cm. Kesimpulannya yaitu pengujian dengan *Air Gun Compressor* menunjukkan bahwa *Concrete Foam* memiliki nilai *strain* dan *stress* tertinggi 8,50. Penambah jarak impak, amplitudo tegangan meningkat tetapi tidak mengubah waktu impak.

ABSTRACT

In addition to providing information on the materials used, road markings should also clearly indicate traffic patterns and other relevant information. Strong materials are required because variations in temperature, humidity, and pressure can damage road markings. In this investigation, concrete foam with a 25 cm rod is the subject. This study approach calculates the stress levels in specimens using an air gun compressor and strain gauge. The sticker pipe is 25 cm from the input bar, and it is 183 mm high. The maximum pressure is 0.3 MPa. The results showed that the impact distance increased the voltage amplitude, with the impact value, full, and unchanging, and three experiments were performed on diverse samples with an ID of 25 cm. The results of testing with an Air Gun Compressor demonstrate that Concrete Foam has the greatest strain and stress value of 8.50. The voltage amplitude increases but does not modify the impact time.

Corresponding Author :

Zufri Hasrudy Siregar

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Al-Azhar Medan, Indonesia

Jalan Pintu Air IV No. 214, Kwala Bekala, Kec. Medan Johor, Kota Medan, Sumatera Utara 20146

Email: rudyshiregar7@gmail.com

PENDAHULUAN

Untuk meningkatkan keamanan dan efektivitas transportasi, marka jalan harus tahan lama (Adiguna, 2019). Marka jalan memegang peran kritis dalam memandu pengendara dan pejalan kaki, serta menyediakan informasi penting terkait aturan lalu lintas dan kondisi jalan (Oktopianto & Rukman, 2021). Faktor-faktor lingkungan seperti perubahan suhu, kelembaban, dan tekanan dapat memengaruhi daya tahan dan kualitas marka jalan (Babić et al., 2022). Penelitian tentang material marka jalan menjadi semakin penting karena kondisi lingkungan yang berubah dan beban lalu lintas yang terus meningkat (Babić et al., 2020; Mardiana, 2019). Batang marka jalan menghadapi beban mekanis dan kondisi lingkungan yang kompleks karena merupakan komponen penting dari sistem marka jalan (Mirabedini et al., 2012; Bethary et al., 2023). Akibatnya, memahami tegangan dan regangan yang dialami oleh batang marka jalan sangat penting untuk memahami kinerja material dan meningkatkan daya tahannya terhadap pengaruh luar (Coves-Campos et al., 2018). Marka jalan sangat penting dalam sistem transportasi karena memberikan petunjuk visual kepada pengendara untuk memastikan keselamatan dan ketertiban lalu lintas (Lu et al., 2023; Mirabedini et al., 2020). Oleh karena itu, sangat penting untuk memahami sifat material marka jalan saat digunakan setiap hari. Beberapa studi sebelumnya menunjukkan bahwa kompresi udara menggunakan *air gun compressor* memberikan hasil yang sangat baik dalam mengurangi tegangan dan regangan pada spesimen batang marka jalan (Cruz et al., 2016; Cinar et al., 2021).

Beberapa penelitian yang meneliti marka jalan seperti penelitian (Oktopianto & Rukman, 2021) diman objek penelitian adalah marka jalan *thermoplastik* yang ditempatkan di Jalan Tol Ir. Wiyoto Wiyono, M.Sc pada ruas Cawang—Tanjung Priok (North South Link/NSL). Penelitian ini melibatkan pembuatan *mock up* dan pengujian marka jalan pada dua model pengujian untuk mengamati pengaruh dan perubahan nilai reflektifitas yang terjadi di lapangan secara langsung. Penelitian yang dilakukan (Adiguna, 2019) Objek penelitian adalah beton dengan penggunaan styrofoam sebagai bahan *additive* untuk menghambat laju pesawat ketika mengalami tergelincir dari landasan pacu. Penelitian juga mencakup desain marka jalan dari beton dengan penggunaan limbah *Styrofoam* sebagai alternative bahan *additive*. Sedangkan penelitian (Babić et al., 2020) membahas berbagai penelitian terkait efektivitas marka jalan terhadap perilaku pengemudi dan keselamatan jalan. Penelitian tersebut mencakup topik seperti visibilitas marka jalan, tingkat retroreflektivitas yang dibutuhkan oleh pengemudi, dan efek marka jalan terhadap pengurangan kecepatan dan kepatuhan terhadap batas kecepatan. Studi tersebut juga mengeksplorasi dampak marka jalan terhadap manuver kendaraan dan kinerja pengemudi. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan gambaran komprehensif tentang penelitian yang dilakukan di area ini. Penelitian (J. Zhang et al., 2023) membahas uji coba tekanan dan deformasi dari beton aspal daur ulang pada berbagai suhu dan tekanan konfining.

Uji triaksial dilakukan dan model E-v Duncan Zhang digunakan untuk menganalisis hasil uji. Hasil menunjukkan bahwa kurva tegangan-regangan bahan bervariasi dengan suhu dan tekanan konfining, dengan suhu rendah dan tekanan rendah menyebabkan dilatansi yang lebih parah. Parameter kekuatan geser juga bervariasi dengan suhu, menunjukkan karakteristik geser yang bergantung pada suhu. Penelitian (Perry & Walley, 2022) Penelitian ini membahas perilaku material komposit yang diperkuat serat polimer (FRP) di bawah beban dinamis dengan fokus pada laju regangan tinggi. Penelitian mencakup berbagai uji laju regangan tinggi dan eksperimen yang dilakukan pada material komposit, serta menyoroti tantangan dan kompleksitas dalam memprediksi dan menilai perilaku material komposit di bawah kondisi beban dinamis. Selain itu, penelitian juga membahas pengaruh laju regangan terhadap sifat mekanik komposit, serta pentingnya melakukan beragam metode eksperimental yang dipilih dengan cermat untuk mengembangkan kemampuan pemodelan prediktif. Dari hasil review jurnal tersebut belum ada menganalisis dampak tegangan dan regangan pada spesimen batang marka jalan menggunakan *air gun compressor*.

Dalam bidang rekayasa material dan struktur, memahami bagaimana bahan dan komponen struktur berperilaku sangat penting untuk mengoptimalkan desain dan performa (Yang

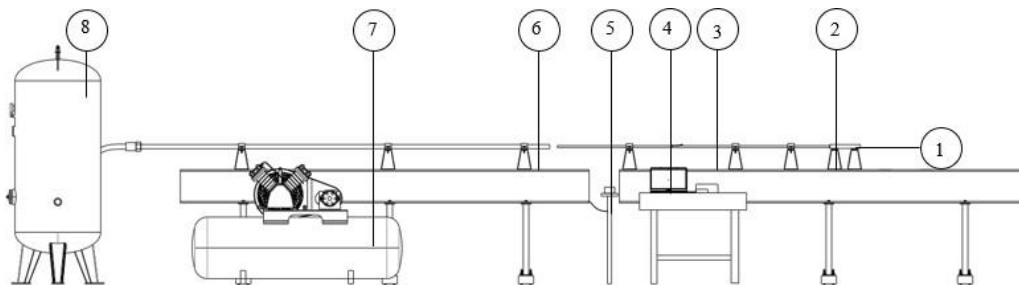
et al., 2023)(Khodadadi et al., 2023) . Analisis dampak tegangan dan regangan pada spesimen batang adalah salah satu metode yang umum digunakan untuk menggambarkan respons mekanis material (American Society for Testing and Materials, 2016) (Casaburo et al., 2019). Penggunaan *Air Gun Compressor* sebagai sumber tekanan untuk menghasilkan tegangan dan regangan pada spesimen batang membuka potensi baru dalam eksplorasi material (F. F. Zhang et al., 2022) (Liao et al., 2021). Penggunaan *Air Gun Compressor* sebagai sumber tekanan untuk menghasilkan tegangan dan regangan pada spesimen batang membuka potensi baru dalam eksplorasi material (Rasyid et al., 2022) (Shi et al., 2019).

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, akan digunakan *strain gauge* pada spesimen batang dan spesimen marka jalan yang bertujuan untuk kalkulasi nilai *stress* pada spesimen setelah terjadi impact dari striker menuju *input bar*. Uji karakteristik dari spesimen menggunakan teknik *strain gauge* yang dimana untuk tekanan maksimum yang dipergunakan oleh striker adalah 0,3 MPa dengan variasi jarak antara batang pipa stiker dan *Input Bar* yaitu 5 s.d. 25cm pada ketinggian 183 mm. Rumus *strain* dengan rumus *stress* dan *strain*

$$\varepsilon_0 = \frac{4\varepsilon_0}{V_E \cdot Ks.Gain} \quad (1)$$

$$\sigma_0 = E \cdot \varepsilon_0 \quad (2)$$



Gambar 1. Set-up pengujian spesimen Batang pada *Air Gun Compressor*

Keterangan:

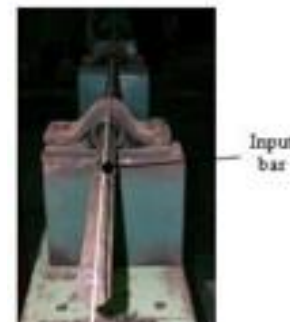
1. *Strain Gauge*
2. Spesimen Batang
3. Input Bar
4. Set-up Alat Ukur VK-701H
5. Saklat ON/OFF
6. Striker
7. *Compressor*
8. Air Tank



(a)



(b)



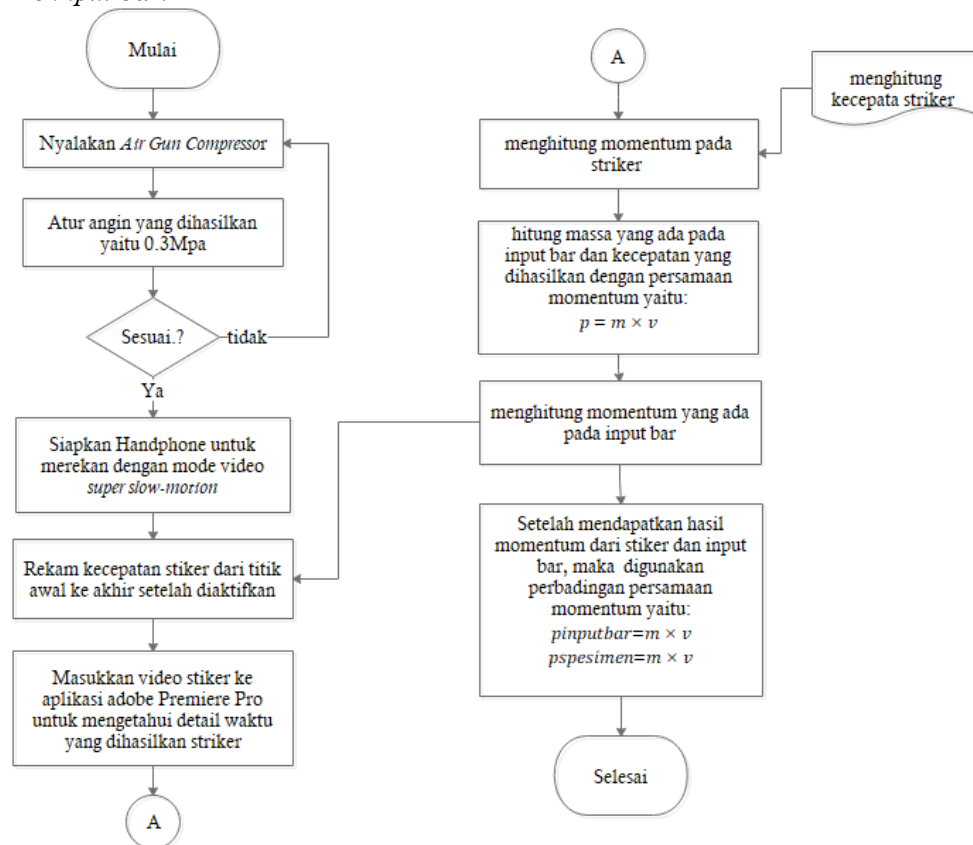
(c)

Gambar 2. Alat uji Kompak

Keterangan:

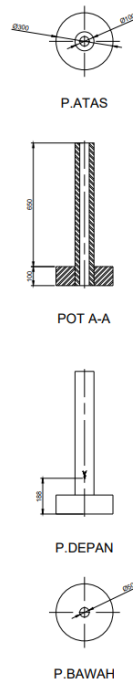
- Pembangkit tekanan impact
- Bagian pembangkit beban impact
- Input Bar

Gambar 2 menunjukkan bagian pembangkit tekanan dilengkapi dengan *compressor* udara, tangki *compressor*, pengukur tekanan, dan *pressure regulator*. Tekanan yang terdapat pada tangki udara dan atur tekanan keluar sebesar 3 bar (0,3 MPa). Bagian pengujian terdiri dari pipa *barrel*, striker, *input bar*, dan *switch pressure regulator* berfungsi untuk membangkitkan gelombang regangan ke *input bar*.



Gambar 3. Flowchart penelitian

Strain gauge mengamati gelombang yang merambat pada batang. Selain itu, alat VK-701H mengirimkan data digital ke komputer melalui *interface* dua *channel*. Hasilnya dapat ditampilkan dalam catatan stres, grafik tegangan fungsi waktu, atau keduanya. Tegangan insiden pada lokasi impact—permukaan *foam* beton spesimen dan bar *input*—dihitung dengan teori rambatan gelombang elastik satu dimensi. (American Society for Testing and Materials, 2016). Posisi pemasangan *strain gauge* pada marka jalan dapat dilihat pada gambar



Gambar 3. Posisi Strain Gauge pada marka jalan

Konfigurasi alat data

akusisi untuk pengujian impact kecepatan tinggi menggunakan kompresor peluru udara menggunakan prosedur pengujian berikut:

1. Sambungkan kabel data *strain gage* ke *jack port Channel* (CH1, CH2,, bergantung pada jumlah *strain gage* yang terpasang) yang berada pada *amplifier EI-1040 Programmable Gain*. Jumlah *port* maksimum 4 *channel*.
2. Atur penguatan gelombang data (*Gain*) sebesar 100x tergantung dari jenis tahanan *strain gage* yang digunakan.
3. Sambungkan kabel data dari *amplifier* ke terminal VK-701H dengan susunan seperti diperlihatkan pada gambar 4



Gambar 4. Setup Susunan kabel data di terminal VK-701H

4. Sambungkan kabel *power* dari *amplifier* ke terminal USB seperti diperlihatkan pada gambar 5



Gambar 5. Susunan kabel power terminal USB

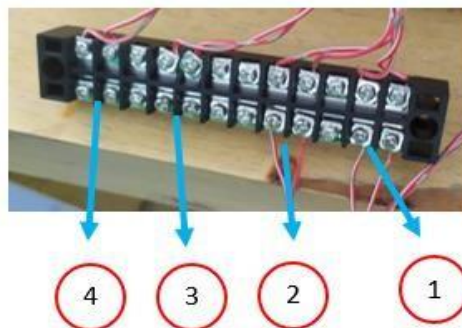
5. Sambungkan kabel data terminal USB ke PC. Buka aplikasi VK701 untuk kalibrasi data dan juga menyimpan data dengan setup *amplifier* dan VK-701H seperti pada gambar 6



Gambar 6. Set up amplifier dan VK-701H

Prosedur pengujian impact laju tegangan dan regangan tinggi untuk mendapatkan respons *input* bar dengan menggunakan alat uji kompresor impact adalah sebagai berikut:

1. Posisikan specimen batang marka jalan secara horizontal pada *input* bar pada *Air Gun Compressor* untuk dapat dilakukan uji impact tegangan dan regangan
2. Atur jarak impact antara striker dan *input* bar sesuai dengan kebutuhan. Jarak impact yang umum digunakan bervariasi antara 5 cm s.d. 25 cm
3. Memutar pengatur tekanan searah jarum jam untuk meningkatkan tekanan efek dan sebaliknya. Tekanan paling rendah yang digunakan adalah 0,3 MPa
4. Hubungkan kabel *strain gauge* yang terdapat pada batang *input* bar kepada terminal alat DAQ seperti Gambar 6.



Keterangan Gambar:

1. Channel 1
2. Channel 2
3. Channel 3
4. Channel 4

Gambar 7. Tampilan Aplikasi VK701

5. Hidupkan alat melalui saklar seperti pada Gambar 7 untuk menembakkan striker.



Gambar 8. Saklar on off Air Gun Compressor

6. Pada program VK-701H, diatur *sampling rate* sebesar 10 KSPS dan *range voltage* sebesar -5 V hingga +5 V dan *Points* sebesar 2000 seperti pada gambar 9.

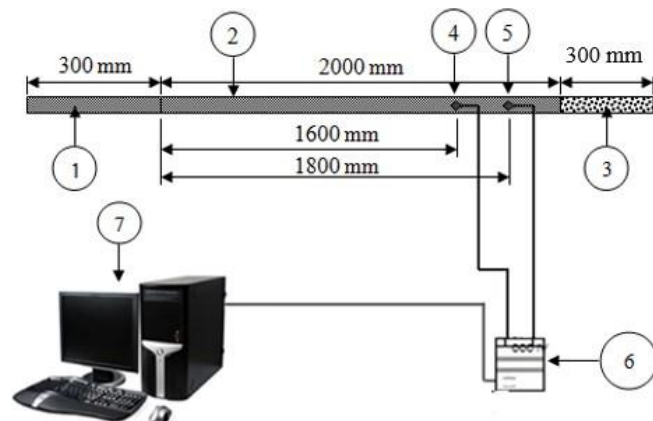


Gambar 9. Pengaturan Aplikasi VK701

7. Penyimpanan data dapat dilakukan dengan cara menekan Tombol *data save* menjadi ON untuk memulai menyimpan data dan menekan Tombol *data save* kembali menjadi OFF untuk data menjadi tersimpan pada Excel seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Penyimpanan data ke Excel



Gambar 11. Keseluruhan *setup* alat uji

Keterangan:

1. *Strain Gauge*
2. Spesimen Batang
3. *Input Bar*
4. *Set-up* Alat Ukur VK-701H
5. Saklat ON/OFF
6. Striker
7. *Compressor*
8. Air Tank

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian *Air Gun Comrpessor*, hasil pengujian menjelaskan bahwa penambahan jarak impak meningkatkan amplitudo tegangan tetapi tidak mengubah nilai waktu impak, waktu mencapai puncak gelombang, waktu gelombang penuh, waktu antara setengah gelombang dan waktu setengah gelombang (Zhao & Zhang, 2019). Pengujian dilakukan dengan 3 kali percobaan pada masing-masing variasi dengan ID 25 cm dimana untuk *strain* dan *stress* pada *strain gauge* 1, *strain gauge* 2 pada *input bar* kemudian *strain gauge* 3 dan 4 pada spesimen batang yang dapat dilihat pada gambar



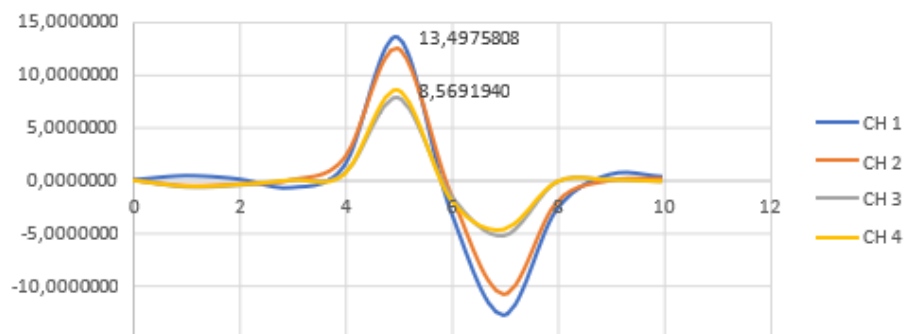
Gambar 12. Pengujian spesimen batang pada AGC

Gambar 12 memperlihatkan benda spesimen batang yang akan di uji dengan Panjang 25 cm dengan menyalakan *Air Gun Compressor*, lalu diatur angin yang dihasilkan yaitu 0.3Mp, kemudian katup dilepaskan dan akan menghasilkan tekanan kejut pada spesimen batang yang terlihat (Xu et al., 2022) , lalu data akan di simpan pada laptop dan data di analisis menggunakan excel (Gao et al., 2019). Terdapat perbedaan nilai dari *stress* antara *strain gauge* 1 dan *strain gauge* 2 karena terdapat *bending* pada besi *input bar* sehingga terdapat selisih pada *strain gauge* 1 dan *strain gauge* 2. Berdasarkan penelitian (Syahrul, 2022) didapat hasil pengujian *Concrete Foam Composite*.

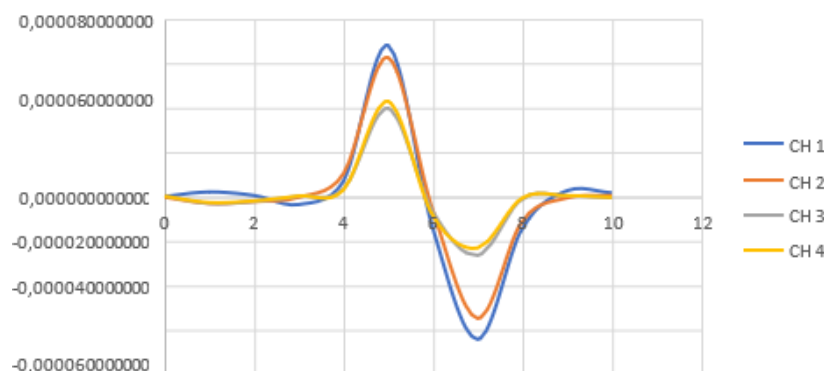
Tabel 2. Hasil penelitian (Syahrul, 2022)

Variabel	<i>Concrete Foam Composite</i>
Kuat tekan (f_c)	5,702 Mpa
Berat Jenis (W_c)	1,368 kg/m ³
Kuat Tarik belah (f_t)	0,523 Mpa
Kuat lentur (f_r)	1,232 Mpa
Modulus elastis (E_s)	3,823 Mpa

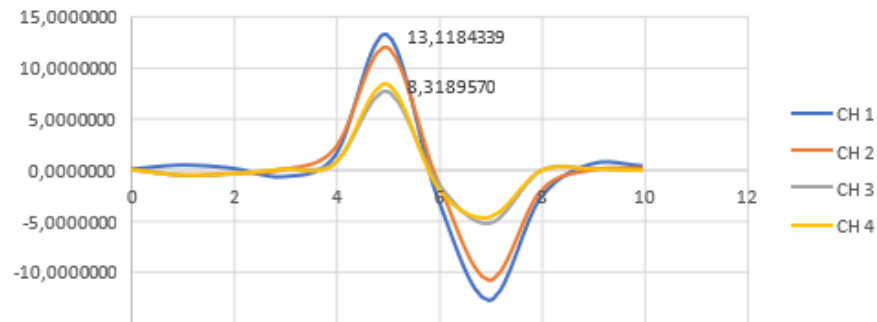
Berdasarkan standar marka jalan (Kusnandar, 2018) Kinerja marka jalan sangat dipengaruhi oleh sifat fisik bahan yang digunakan (Babić et al., 2020). Bahan termoplastik, baik itu dingin, telah dibentuk, atau pita, memiliki sifat pengikat, pelarut, dan reflektif. Mereka harus memenuhi persyaratan yang diatur dalam standar yang relevan yang sudah ditentukan sebelumnya. Berikut merupakan hasil dari grafik tegangan dan regangan pada spesimen batang



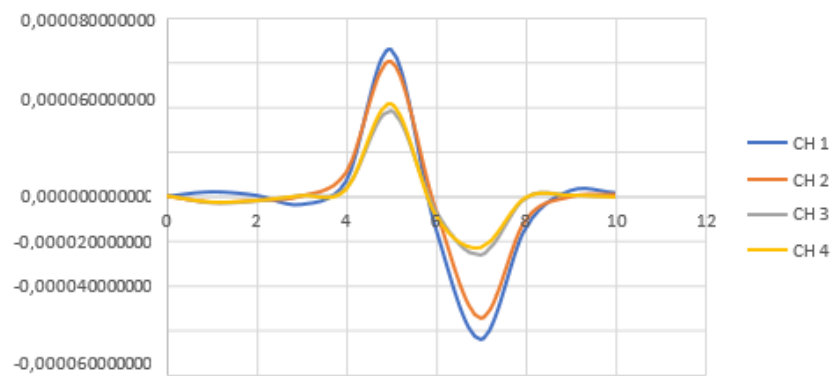
Gambar 13. Stress specimen percobaa-1 (25 cm)



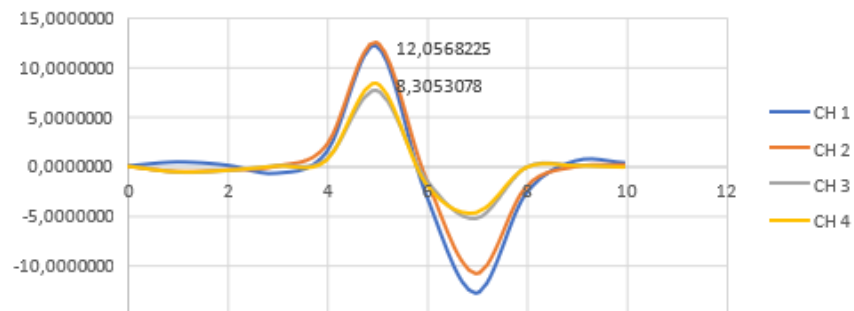
Gambar 14. Strain specimen percobaa-1 (25 cm)



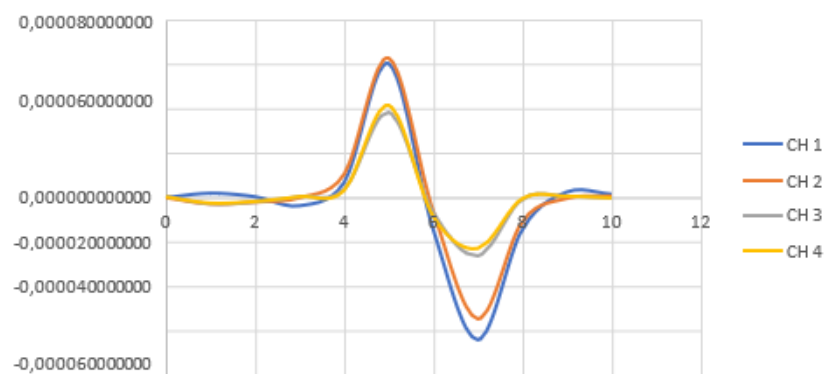
Gambar 15. *Stress specimen percobaa-2 (25 cm)*



Gambar 16. *Strain specimen percobaa-2 (25 cm)*



Gambar 17. *Stress specimen percobaa-3 (25 cm)*



Gambar 18. *Strain specimen percobaa-3 (25 cm)*

Hasil setelah dilakukan pengujian menggunakan AGC didapatkan dengan melihat nilai *strain* dan *stress* paling tinggi sampai terjadinya keretakan pada spesimen marka jalan. Detail dari percobaan menggunakan AGC dapat dilihat pada Tabel sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil pengujian

ID 25 cm	
<i>Concrete Foam Composite</i> (Perc 1)	8,50 (tidak Crack)
<i>Concrete Foam Composite</i> (Perc 2)	8,31 (tidak Crack)
<i>Concrete Foam Composite</i> (Perc 3)	8,50 (Crack)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pengaruh impak terhadap spesimen batang yang terbuat dari *concrete foam composite* yang diperkuat dengan 3% serat kulit durian mendapatkan jarak impak meningkatkan *amplitudo* tegangan tetapi tidak mengubah nilai waktu impak, waktu mencapai puncak gelombang, waktu gelombang penuh, waktu antara setengah gelombang, dan waktu setengah gelombang. Penelitian yang dilakukan dengan *Air Gun Compressor* terhadap spesimen batang marka jalan di dapatkan bahwa nilai *strain* dan *stress* paling besar sehingga terjadi retakan adalah percobaan ketiga *Concrete Foam Composite* dengan nilai 8,50 hal ini terjadi dikarenakan terjadi *bending* antara *strain gauge* 1 dan *strain gauge* 2.

Penggunaan *Air Gun Compressor* berhasil dalam mengukur *stress* dan *strain* pada spesimen batang dan marka jalan. Pengujian impak dengan *Air Gun Compressor* menghasilkan besarnya *strain* dan *stress* pada spesimen batang dan marka jalan. Selain itu, penggunaan *strain gauge* pada spesimen batang dan marka jalan memungkinkan kalkulasi nilai *stress* setelah terjadi impak dari striker menuju *input bar*. Data tegangan dan regangan dari pengujian diolah menggunakan alat data akuisisi dan excel

Saran

Masukan untuk penelitian selanjutnya antarlain studi pemodelan numerik seperti analisis elemen hingga (FEA), analisis hubungan antara variable dengan metode statistik, seperti ANOVA dan regresi linier. Percobaan dengan variasi lebih dari 5 memberikan nilai yang lebih akurat dan jenis material yang berbeda seperti material Oobleck yang dapat menahan impak yang besar dan tidak akan memberikan *normal force* yang kecil bila *pressure* rendah

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada segenap teman teman Konsultan Pengawas yang ada di proyek UMK-USU dan PT. Arita Teknik Persada yang telah memberikan kesempatan untuk dapat menguji material nya, kemudian terimakasih banyak kepada LPP-Universitas Al-Azhar Medan yang memberikan biaya riset dari penelitian ini, serta juga terimakasih banyak kepada Universitas Asahan, Kisaran Medan yang sudah banyak mensupport peneliti selama ini

REFERENSI

Casaburo, A., Petrone, G., Franco, F., & De Rosa, S. (2019). A Review of Similitude Methods for Structural Engineering. *Applied Mechanics Reviews*, 71(3), 1–32. <https://doi.org/10.1115/1.4043787>

- Khodadadi, N., Harati, E., De Caso, F., & Nanni, A. (2023). Optimizing Truss Structures Using Composite Materials under Natural Frequency Constraints with a New Hybrid Algorithm Based on Cuckoo Search and Stochastic Paint Optimizer (CSSPO). *Buildings*, 13(6), 1–38. <https://doi.org/10.3390/buildings13061551>
- Yang, H., Xu, Y., Zhang, H., Zhang, J., Yang, F., Wang, Y., & Wu, Y. (2023). Experimental Investigation on the Performance of Compressors for Small-Scale Compressed Air Energy Storage in Parallel Mode. *Sustainability (Switzerland)*, 15(17), 1–29. <https://doi.org/10.3390/su151713164>
- Adiguna, A. (2019). Desain marka jalan dari beton dengan replacement system. *Jurnal Deformasi*, 4(1), 44. <https://doi.org/10.31851/deformasi.v4i1.2973>
- American Society for Testing and Materials. (2016). ASTM D638-14, Standard practice for preparation of metallographic specimens. *ASTM International*, 82(C), 1–15. <https://doi.org/10.1520/D0638-14.1>
- Babić, D., Babić, D., Fiolic, M., & Ferko, M. (2022). Road Markings and Signs in Road Safety. *Encyclopedia*, 2(4), 1738–1752. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2040119>
- Babić, D., Fiolić, M., Babić, D., & Gates, T. (2020). Road Markings and Their Impact on Driver Behaviour and Road Safety: A Systematic Review of Current Findings. *Journal of Advanced Transportation*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/7843743>
- Bethary, R., Budiman, A., & Hibatullah, A. (2023). Evaluasi rambu dan marka pada Kota Serang ruas jalan Veteran - Jalan Jendral Ahmad Yani. *Cantilever: Jurnal Penelitian Dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 12(1), 41–48. <https://doi.org/10.35139/cantilever.v12i1.200>
- Cinar, Z., Asmael, M., Zeeshan, Q., & Safaei, B. (2021). Effect of Springback on A6061 Sheet Metal Bending: A Review. *Jurnal Kejuruteraan*, 33(1), 13–26. [https://doi.org/10.17576/jkukm-2021-33\(1\)-02](https://doi.org/10.17576/jkukm-2021-33(1)-02)
- Coves-Campos, A., Bañón, L., Coves-García, J. A., & Ivorra, S. (2018). In situ study of road marking durability using glass microbeads and antiskid aggregates as drop-on materials. *Coatings*, 8(10), 1–17. <https://doi.org/10.3390/COATINGS8100371>
- Cruz, M., Klein, A., & Steiner, V. (2016). Sustainability assessment of road marking systems. *Transportation Research Procedia*, 14, 869–875. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.035>
- Gao, J., Wang, H., Qin, W., Ma, Q., Yang, G., & Zhang, R. R. (2019). Experimental Study on High-Pressure Air Blasting Fracture for Coal and Rock Mass. *Advances in Civil Engineering*, 2019(1), 1–10. <https://doi.org/10.1155/2019/9613563>
- Khodadadi, N., Harati, E., De Caso, F., & Nanni, A. (2023). Optimizing Truss Structures Using Composite Materials under Natural Frequency Constraints with a New Hybrid Algorithm Based on Cuckoo Search and Stochastic Paint Optimizer (CSSPO). *Buildings*, 13(6), 1–38. <https://doi.org/10.3390/buildings13061551>
- Kusnandar, E. (2018). Marka Jalan. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Vol. 13).
- Liao, Z., la Monaca, A., Murray, J., Speidel, A., Ushmaev, D., Clare, A., Axinte, D., & M'Saoubi, R. (2021). Surface integrity in metal machining - Part I: Fundamentals of surface characteristics and formation mechanisms. In *International Journal of Machine Tools and Manufacture* (Vol. 162, Issue October 2020, p. 103687). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2020.103687>
- Lu, J., Zhang, M., Feng, J., Gao, Y., Yang, Y., Li, Y., & Li, L. (2023). Investigation on the technical performance and workability of hot-melting road marking materials using for the high-altitude area. *Case Studies in Construction Materials*, 18(December 2022), e02027. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02027>

- Mardiana, T. S. (2019). Analisis kebutuhan rambu dan marka jalan untuk meningkatkan keselamatan di Provinsi Bangka Belitung (Studi kasus ruas jalan Provinsi di Kabupaten Bangka). *Jurnal Penelitian Transportasi Darat*, 21(2), 131–144. <https://doi.org/10.25104/jptd.v22i2.1592>
- Mirabedini, S. M., Jamali, S. S., Haghayegh, M., Sharifi, M., Mirabedini, A. S., & Hashemi-Nasab, R. (2012). Application of mixture experimental design to optimize formulation and performance of thermoplastic road markings. *Progress in Organic Coatings*, 75(4), 549–559. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2012.05.012>
- Mirabedini, S. M., Zareanshahraki, F., & Mannari, V. (2020). Enhancing thermoplastic road-marking paints performance using sustainable rosin ester. *Progress in Organic Coatings*, 139, 105454. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.105454>
- Oktopianto, Y., & Rukman, R. (2021). Analisis degradasi performa marka jalan Thermoplastik pada jalan Tol. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 19(4), 439–444. <https://doi.org/10.12962/j2579-891X.v19i4.9222>
- Perry, J. I., & Walley, S. M. (2022). Measuring the Effect of Strain Rate on Deformation and Damage in Fibre-Reinforced Composites: A Review. *Journal of Dynamic Behavior of Materials*, 8(2), 178–213. <https://doi.org/10.1007/s40870-022-00331-0>
- Rasyid, S., , Rusdi Nur, M. M., & Basongan, Y. (2022). Simulation and Experimental Evaluation of Tensile Properties and Macrostructure Changed of 3D printer PLA Filament. *Polimesin*, 20(2), 121–127. <https://doi.org/10.30811/jpl.v20i2.2929>
- Shi, Y., Cai, M., Xu, W., & Wang, Y. (2019). Methods to Evaluate and Measure Power of Pneumatic System and Their Applications. *Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition)*, 32(1). <https://doi.org/10.1186/s10033-019-0354-6>
- Syahrul, S. (2022). Potensi beton busa bahan konstruksi berkelanjutan penopang pembangunan Ibu Kota Negara Nusantara di Kalimantan Timur. *Kurva S : Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknik Sipil*, 10(2), 49. <https://doi.org/10.31293/teknikd.v10i2.6838>
- Xu, Y., Wang, X., Zhang, H., Yang, F., Liang, J., Yang, H., Niu, K., Liu, Z., Wang, Y., & Wu, Y. (2022). Experimental Investigation of the Output Performance of Compressed-Air-Powered Vehicles with a Pneumatic Motor. *Sustainability (Switzerland)*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/su142215377>
- Yang, H., Xu, Y., Zhang, H., Zhang, J., Yang, F., Wang, Y., & Wu, Y. (2023). Experimental Investigation on the Performance of Compressors for Small-Scale Compressed Air Energy Storage in Parallel Mode. *Sustainability (Switzerland)*, 15(17), 1–29. <https://doi.org/10.3390/su151713164>
- Zhang, F. F., He, K., Huang, B., & Chen, H. L. (2022). High strain rate compressive behaviour of 6000-series aluminium alloy sheet under SHPB impact loading. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1270(1), 012052. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1270/1/012052>
- Zhang, J., Zhou, M., Liu, J., & Huang, X. (2023). Experimental Study of Stress and Deformation of Reclaimed Asphalt Concrete at Different Temperatures. *Materials*, 16(3). <https://doi.org/10.3390/ma16031323>
- Zhao, S., & Zhang, Q. (2019). Dynamic Crack Propagation and Fracture Behavior of Pre-cracked Specimens under Impact Loading by Split Hopkinson Pressure Bar. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019(2), 1–11. <https://doi.org/10.1155/2019/2383861>