

PROSES RANCANG BANGUN TRUSS APPARATUS (ALAT PRAKTIKUM RANGKA BATANG)

Joko Suprianto¹, Delima Yanti Sari², Purwantono³, Yolli Fernanda⁴
¹²³⁴ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang⁷
Email: delimayanti@ft.unp.ac.id

Abstrak: Rangka batang (truss) adalah sistem struktural yang terdiri dari sejumlah bagian (batang), yang masing-masing diyakini bertindak sebagai sambungan pada simpulnya dan yang hanya dapat menahan gaya aksial. Pengukuran gaya-gaya pada rangka batang sederhana (truss apparatus) merupakan salah satu modul dalam Praktikum Fenomena Dasar Mesin. Praktikum ini bertujuan agar mahasiswa mampu memahami perhitungan parameter-parameter penting dalam Fenomena Dasar Mesin secara teoritis dan melakukan eksperimen menggunakan alat ukur untuk mengukur parameter tersebut. Dalam paper ini dilakukan kajian literatur tentang proses rancang bangun alat praktikum rangka batang (*truss* bidang) secara sistematis dengan meninjau model *truss* dan instrumentasi. Tinjauan model truss meliputi tinjauan tentang bentuk *truss*, jumlah batang, bentuk sambungan (*joint*), dan material rangka batang. Tinjauan instrumentasi meliputi sensor pengukur gaya, sistem data akuisisi, rangkaian alat elektronika, tampilan data melalui LCD dll. Hasil kajian sistematis ini akan digunakan sebagai sumber acuan dalam proses rancang bangun *truss apparatus* (rangka batang bidang) dilakukan di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Kata kunci: rancang bangun, *truss apparatus*, gaya, sensor pengukur gaya dan sistem data akuisisi.

Abstrak: *A truss is a structural system consisting of a number of members (rods), each of which is believed to act as a connection at its vertices and which can only withstand axial forces. Measurement of forces on a simple truss apparatus is one of the modules in the Practicum of Basic Mechanical Phenomena. This practicum aims to enable students to understand the theoretical calculation of important parameters in the Basic Phenomenon of Machines and to conduct experiments using measuring instruments to measure these parameters. In this paper, a literature review is carried out on the process of systematically designing and building truss practicum tools by reviewing the truss model and instrumentation. The review of the truss model includes an overview of the shape of the truss, the number of bars, the shape of the connection (joint), and the material of the truss. The instrumentation view includes force measuring sensors, data acquisition systems, electronic device circuits, data display via LCD etc. The results of this systematic study will be used as a reference source in the truss apparatus design process carried out at the Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Padang.*

Keywords: *design, truss apparatus, force, force measuring sensors and data acquisition systems.*

PENDAHULUAN

Mata Kuliah Praktek Fenomena Dasar Mesin (FDM) merupakan mata kuliah wajib Jurusan Teknik Mesin. Praktikum ini bertujuan agar mahasiswa mampu memahami perhitungan parameter-parameter penting dalam Fenomena Dasar Mesin secara teoritis dan melakukan eksperimen menggunakan alat ukur untuk mengukur parameter tersebut. Untuk memahami mata kuliah ini, perlu dilakukan proses pembelajaran yang efisien dan efektif. Peningkatan sarana dan prasarana berupa peralatan laboratorium dilakukan untuk mendukung proses pembelajaran. Salah satu modul dalam Praktikum Fenomena Dasar Mesin yaitu pengukuran gaya-gaya untuk rangka batang sederhana (truss apparatus). Rangka batang (truss) adalah suatu sistem struktur yang tersusun dari sejumlah elemen (batang), dimana setiap simpul dianggap bekerja sebagai suatu sambungan dan dimana setiap elemen hanya dapat menahan gaya aksial (tarik atau tekan).

Gaya adalah hasil dari satu item yang bekerja pada item lain, dan arah, ukuran, dan titik tindakannya adalah apa yang menentukannya. Gaya yang bereaksi pada benda memberikan titik kerja yang sama. Bagian berbasis skala pada garis aksi digunakan untuk menggambarkan gaya. Panjang segmen dapat dinyatakan sebagai besaran gaya. Gaya adalah sebuah besaran vektor, sebuah besaran yang tidak hanya bergantung pada besarnya tetapi juga arah. Momen merupakan gaya dikali jarak. Momen adalah kecenderungan gaya untuk menyebabkan benda tegar berputar mengelilingi suatu sumbu. Momen adalah hasil dari gaya-gaya yang bekerja pada suatu benda dan menyebabkan benda tersebut melentur.

Rangka batang adalah konfigurasi potongan linier yang membuat segitiga atau

banyak segitiga untuk membuat bingkai yang menahan deformasi di bawah beban eksternal. Semua komponen dianggap terhubung pada sambungan melalui sambungan-sambungan. Setiap beban ditransmisikan melalui tautan, juga dikenal sebagai simpul atau titik engsel. Penataan komponen menjadi bentuk segitiga yang menghasilkan bentuk paling stabil adalah ide utama di balik penggunaan rangka batang sebagai struktur penahan beban. Berlawanan dengan desain persegi panjang, itu akan mudah berubah bentuk ketika dikenai beban, yang mengakibatkan runtuhnya mekanisme (*collapse*). Karena setiap batang memberikan hambatan yang sama saat menerima beban, hanya segitiga yang memiliki struktur stabil yang menghasilkan bentuk yang seimbang. Batang-batang tersebut disusun dalam segitiga dengan cara yang stabil, namun tidak semua susunan segitiga itu kokoh dan stabil. Gaya tekan dan gaya tarik sering dijumpai pada tepi atas dan bawah balok pada rangka batang yang hanya menopang beban vertikal. Setiap batang dapat mengalami gaya tarik atau tekan, yang dapat bergantian antara tarik dan tekan.

Persamaan dasar keseimbangan dapat digunakan untuk menganalisis bagaimana gaya-gaya berperilaku pada setiap batang rangka. Namun, pendekatan yang akan membantu dalam memberikan gambaran tentang bagaimana rangka menahan beban dapat digunakan untuk menentukan nilai kekuatan tarik dan tekan untuk pengaturan rangka batang yang lugas.

Rangka batang terdiri dari beberapa batang yang disambungkan satu sama lain di kedua ujungnya dengan ikatan pin untuk menciptakan struktur yang kokoh dan stabil. Sebuah truss bidang adalah truss di mana semua anggota berada di bidang yang sama (2D). Komponen dasar truss bidang adalah segitiga yang terdiri dari tiga batang truss yang disambungkan di setiap

ujungnya dengan sambungan pin. Setiap komponen rangka batang lurus memiliki tegangan atau tekan yang tertarik.

Gaya batang dapat ditentukan apabila mengalami tekan atau tarik, gaya tarik ditunjukkan dengan tanda positif, sedangkan tanda negatif menunjukkan gaya tekan. Arah panah ditunjukkan dalam penggambarannya di setiap titik sebagai tanda untuk menunjukkan dorongan atau tarikan. Kompresi ditunjukkan dengan menarik panah ke arah titik sambungan, sedangkan ketegangan ditunjukkan dengan menarik panah menjauh dari sambungan.

Jika respon tumpuan dan gaya batang dapat dihitung pada kondisi kesetimbangan, maka konstruksi rangka batang dianggap pasti secara statis. ($\sum F_x = 0 \sum F_y = 0 \sum M = 0$). Suatu konstruksi rangka batang dikatakan statis tak tentu jika yang gaya-gaya dalamnya dan reaksi-reaksi tumpuannya tidak bisa dilakukan penyelesaian cuma melalui persamaan-persamaan statika ($\sum F_x = 0 \sum F_y = 0 \sum M = 0$). Hal tersebut diakibatkan oleh adanya kelebihan reaksi-reaksi tumpuan (Redundant Reaction) satu atau lebih. Derajat ketidak tentuannya dilakukan penentuan dari jumlah *redundant* tersebut

METODE PENELITIAN

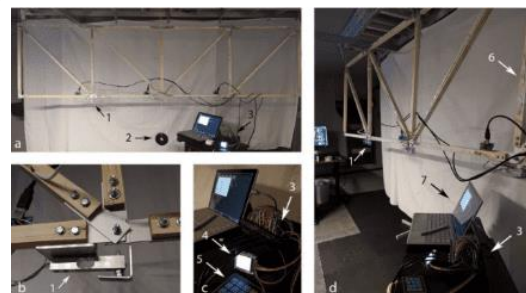
Metode penelitian yakni literature review. Literatur review atau tinjauan pustaka adalah penelitian yang secara kritis mengevaluasi atau menilai pengetahuan, konsep, atau penemuan yang ditemukan dalam tubuh literatur akademik dan mengembangkan kontribusi teoritis dan metodologis untuk tema-tema tertentu [1]. Jenis analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif. Metodologi penelitian ini adalah analisis deskriptif, yang secara rutin menguraikan data yang dikumpulkan sebelum memberikan pemahaman dan membenaran yang masuk

akal bagi pembaca.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Rangka Batang

Struktur rangka merupakan gabungan elemen-elemen yang menyusun segi segitiga yang dihubungkan melalui titik simpul. Sadowski & Jankowski [2] mengembangkan dalam penelitian model rangka howe. William Howe, seorang millwright dari Massachusetts, adalah orang pertama yang mematenkan *Howe Truss* pada tahun 1840. Tipe *Pratt Truss* memiliki elemen diagonal yang berfungsi menahan gaya tekan sedangkan elemen batang vertikal berfungsi menahan gaya tarik. Elemen batang *Howe Truss* adalah kebalikan dari ini [3]. Penelitian Sadowski & Jankowski [2] membuat alat Struktur Rangka Batang di Fakultas Arsitek, agar memecahkan masalah yang berkaitan dengan kesulitan dalam belajar. Implementasi rangka yang memvisualisasikan jenis dan nilai gaya internal atau kemungkinan fungsi alat tersebut pada objek nyata misalnya jembatan, akan menjadi alat ajar yang menarik tidak hanya di kalangan mahasiswa arsitektur tetapi orang-orang berhubungan dengan desain



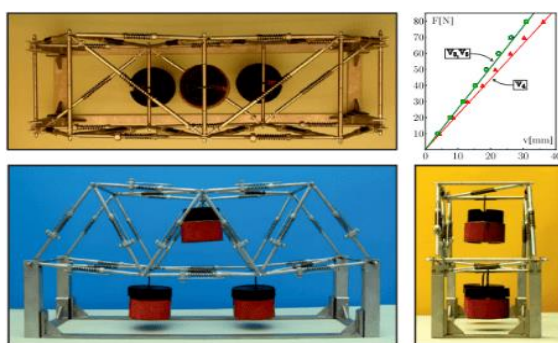
Gambar 1. Elements of a truss, Sadowski & Jankowski [2].

Deskripsi penelitian Sadowski & Jankowski [2] rangka yang berukuran 2,4 mm kali 0,6 mm dan terbuat dari bila kayu persegi Panjang dengan penampang 1x1 cm. batang-batang yang dihubungkan pada simpul-simpul dengan menggunakan plat.

Truss yang di topang oleh dua penyangga di simpul eksternal dan beban di asumsikan di simpul lainnya. Pada *truss* di muat tiga node dari chord yang lebih rendah. Balok tersometrik, yang mengalami deformasi akibat diberi beban. Ditempatkan bagian bawah simpul sedemikian rupa sehingga simulasi beban pada rangka batang dibagain simpul dapat lihat pada gambar.

Bigoni et al., [4] menggunakan penelitian dalam model rangka batang Tipe *Warren Truss*. James Warren dan Willoughby Theobald Monzani mengajukan permohonan paten untuk jenis *Truss* ini di Inggris pada tahun 1848. *Truss* jenis ini memiliki rangka berbentuk segitiga sama kaki atau sama sisi daripada batang vertikal. Batang diagonal berada dalam berbagai keadaan tarik dan tekan [5]. Model demonstrasi *truss* telah dirancang, dikerjakan dan diuji dengan sukses di lingkungan belajar yang berbeda untuk memfasilitasi pemahaman tentang mekanisme struktur rangka, di mana struss mengalami tekanan pada beban aksial dan deformasi murni.

Prototipe pertama yang kembangkan Bigoni et al., [4] adalah planar, meskipun ringan, sederhana dan sangat akurat dalam mereproduksi deformasi tidak menggambarkan masalah perlunya bundar kawat untuk menghindari ketidakstabilan di luar bidang. Oleh karena itu, Bigoni et al., mengembangkan sepenuhnya bidang *truss* pada gambar 2.

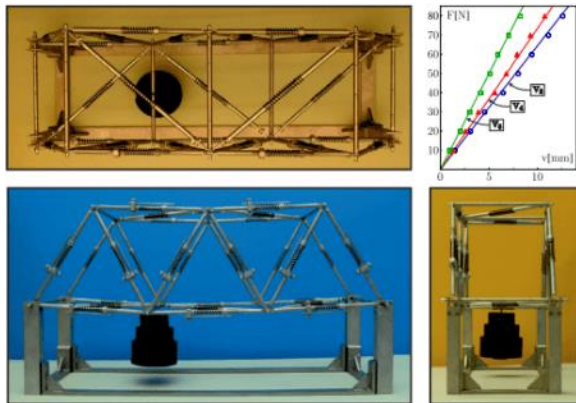


Gambar 2. Kombinasi beban, Bigoni [4]

model yang ditunjukkan pada gambar 2, yang secara efektif dapat menunjukkan pentingnya *cross bracing*. Model ini ditujukan untuk geometri paling sederhana, yaitu struktur *warren*, sering digunakan di jembatan sehingga dapat digunakan untuk menjelaskan mekanika struktur rangka, meskipun sepenuhnya mewakili perilaku model *truss* elastis. Kedua model pengajaran telah digunakan secara teratur selama sepuluh tahun di Universitas Trento tentang kekuatan material dan telah digunakan untuk: (i) dua kursus orientasi universitas yang diselenggarakan oleh 'Scuola Normale Superiore' di Pisa, (ii) demonstrasi publik dan (iii) presentasi yang diberikan kepada sekolah dasar. Model-model ini telah terbukti mencontohkan cara struktur rangka dirancang dan berubah bentuk, dan telah digunakan di kelas sarjana untuk secara eksperimental menilai validitas pemodelan struktural melalui elastisitas linier.

Struktur rangka *planar Warren* di mana komponen struktur lurus telah dikonstruksi dengan elemen pegas. Model yang digunakan: (i) secara kualitatif untuk menunjukkan perilaku 'global' dari struktur dan untuk menjelaskan cara di mana semua elemen terutama tunduk pada tegangan aksial atau kompresi, dan (ii) secara kuantitatif dengan menghitung rasio antara dua atau lebih pemanjangan batang atau perpindahan simpul dan mengukur rasio ini pada model dalam penelitian Bigoni et al., [4]. model *truss* telah mengungkapkan bahwa, meskipun sangat baik untuk tujuan yang tercantum di atas, itu tidak menggambarkan ketidakstabilan di luar bidang struktur dan kebutuhan konsekuensi dari penyangga silang kepada pelajar. Oleh karena itu, Bigoni et al., [4] merancang snubber pegas yang ditunjukkan pada gambar 3, di mana penunjuk bergerak memungkinkan pengukuran pemanjangan atau pemendekan elemen, dan membangun semacam konfigurasi jembatan rangka

Warren, yang dibatasi secara eksternal oleh engsel dan roller. Snubber telah dikerjakan dari tabung aluminium 2117 dan pegas telah dirancang menggunakan rumus untuk pegas heliks dari kawat bundar [9].

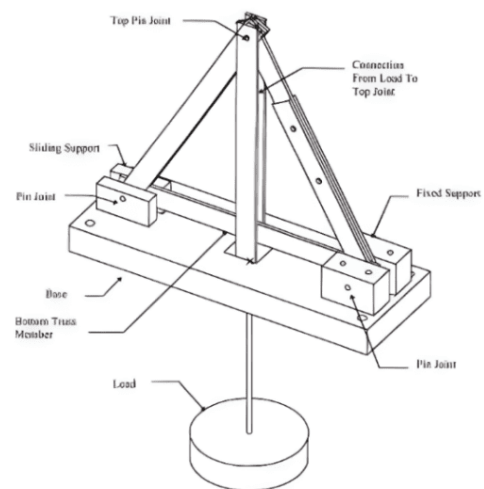


Gambar 3. Bebannya asimetris, Bigoni [4]

Pinkerton et al., [6] mengembangkan peralatan bench-top sederhana telah dikembangkan untuk secara eksperimental menentukan gaya dalam anggota sistem rangka sederhana. Ada kebutuhan untuk eksperimen *truss* berbiaya rendah yang memungkinkan mahasiswa teknik untuk membandingkan teori dengan eksperimen. memperoleh pengukuran eksperimental gaya pada batang rangka yang sesuai dalam beberapa persen dengan prediksi dari mekanika dasar. Alat ini mudah dioperasikan, dan cocok sebagai demonstrasi kelas atau eksperimen laboratorium. Peralatan ini sesuai dimasukkan dalam laboratorium fisika mahasiswa baru, statika teknik, mekanika bahan, atau kursus metode eksperimental.

Pinkerton et al., [6] Merancang *apparatus* untuk mengukur gaya pada salah satu anggota rangka segitiga. Tampilan perangkat dilihat pada Gambar 4. Anggota rangka terbuat dari batang aluminium tipis dengan Panjang, lebar, dan tinggi alas adalah: $254 \times 3.174 \times 19,05$ mm, dirakit menjadi segitiga sama sisi. *Truss* dipasang di atas dasar aluminium. Basis menyediakan dukungan tetap dan geser

untuk rangka. Panjang, lebar, dan tinggi alas adalah: $292 \times 101,6 \times 25,4$ mm. Gaya pada sambungan diterapkan menggunakan dua batang aluminium atau kabel yang dipasang pada sambungan pin. Batang-batang pembebanan ini melewati kedua sisi bagian rangka bawah dan turun melalui lubang di dasar untuk dihubungkan dengan penggantung massa. Sistem rangka dibebani dengan menerapkan massa laboratorium slotted ke gantungan [7].

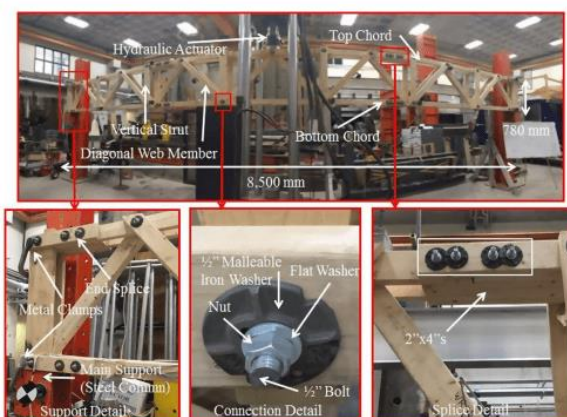


Gambar 4. Peralatan dan komponen utama, Pinkerton [3].

Sambungan pin tetap terdiri dari dua blok aluminium yang terpasang pada alas menggunakan empat $10-32 \times$ Sekrup mesin 50,8 mm. Masing-masing balok memiliki lubang 4,76 mm agar pada saat pemasangan pasak baja dari sambungan pin. Lubang yang digunakan untuk pin dowel dan sekrup harus ditempatkan pada toleransi 0,025 mm. Ketika balok-balok dipasang ke alas, batang-batang rangka dipasang dengan pas di antara balok-balok tersebut. Dukungan geser terdiri dari dua blok aluminium yang dirancang untuk meluncur bebas di permukaan dasar. Posisi lubang untuk pin di setiap sisi penyangga harus berjarak sama di atas pelat dasar hingga toleransi 0,025 mm. Sudut bawah depan dan belakang balok yang bersentuhan dengan alas batang hingga sekitar 45

derajat untuk mengurangi gesekan. Permukaan bawah dari dua blok pendukung disusun untuk memastikan keduanya bersentuhan penuh dengan alas saat sambungan dipasang. Ini sangat penting dalam mengurangi gesekan pada sambungan.

Helmer-Smith et al., [8] melakukan penelitian ini menguraikan prosedur pengujian dan pemantauan model skala rangka *Warren* yang dibuat 2 inci × 4 inci dan sambungan baut di dalam lingkungan laboratorium. Beberapa bentuk pemantauan defleksi dan instrumentasi pemantauan regangan digunakan selama fase pengujian laboratorium dari program penelitian jangka Panjang. Tujuan dari fase termasuk mengidentifikasi kemampuan instrumen, keterbatasan, dan efektivitas keseluruhan sehubungan dengan mewakili perilaku sistem rangka. Tujuan dari upaya penelitian Helmer-Smith et al., [8] laboratorium ini adalah untuk menentukan program pemantauan kesehatan struktural yang optimal sebelum diterapkan pada struktur rangka *Warren* kayu basah dalam inventaris infrastruktur Departemen Pertahanan Nasional (DND)



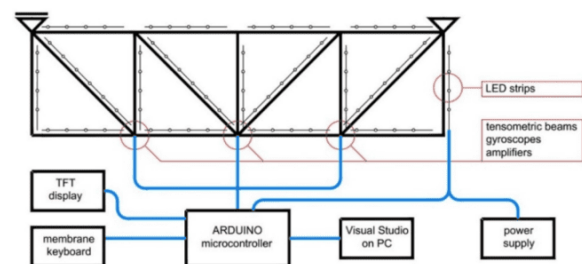
Gambar 5. struktur Royal Military College, Helmer-Smith [8].

Instrumentasi

Sadowski & Jankowski [2] membuat perangkat yang memeriksa tegangan arus yang mengalir melalui sistem kelistrikan di

dalamnya. Tegangan ini berubah dengan bantuan jembatan *Wheatstone* bersama dengan deformasi mikroskopis yang tergantung pada parameter elastis material dari geometri balok yang disebabkan oleh beban eksternal, dengan demikian sistem jalur penghantar arus internal, yang mempengaruhi resistensi dan intensitas. Perubahan tegangan diukur dan dikirim dari sistem tensometrik ke amplifier. Model balok tensometri yang diadopsi memungkinkannya untuk dibebani dengan gaya maksimum 20 N, tetapi untuk menggunakan model lain dengan kekuatan apa pun misalnya, 50, 100, atau 150 N. Pada akhirnya, satu-satunya batasan adalah kekuatan rangka itu sendiri. Balok tensometrik dilekatkan pada giroskop, yang Bersama-sama dengan balok dan amplifier bertanggung jawab untuk membaca sudut kemiringan, dengan demikian memungkinkan pembacaan arah gaya yang diterapkan pada rangka.

Sinyal yang diperkuat melalui mikrokontroler Arduino Mega2560 dan dikenali sebagai nilai yang sesuai dari gaya yang diterapkan pada balok dan diproses lebih lanjut. Amplifier, balok tensometrik, dan giroskop memiliki konsumsi daya yang rendah.



Gambar 6. Diagram rangka, Sadowski & Jankowski [2].

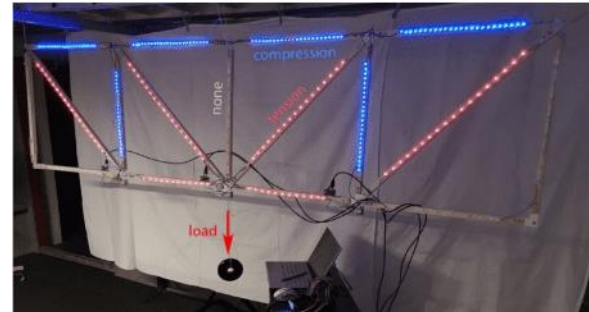
Mikrokontroler Arduino bertanggung jawab untuk menerima, memproses, dan mengirim data lebih lanjut dan dioperasikan oleh program bawaan yang ditulis dalam bahasa Arduino yang memiliki banyak fitur yang sama dengan

bahasa C++. Program ini telah dibagi menjadi sub-sub program yang melakukan berbagai fungsi. Layar TFT mini dengan resolusi 128×160 px terhubung ke mikrokontroler, memungkinkan pemilihan program menggunakan *keyboard* membran yang terhubung. Memilih nomor di atasnya yang sesuai dengan sub-program akan memulai eksekusi bagian kode yang ditunjukkan.

Sub-program dasar digunakan untuk menganalisis dan menyajikan gaya dalam rangka batang dari bentuk yang dipilih. Dua bentuk rangka pada awalnya dikembangkan, didukung oleh dua sub-program yang berurutan. Untuk setiap batang di masing-masing rangka batang, koefisien partisi di mana gaya pada simpul dikalikan sebelumnya ditentukan secara analitis. Setelah diluncurkan, sub-program mulai mengumpulkan data tentang kekuatan yang diterapkan. Nilai yang diukur di setiap simpul dikalikan menurut koefisien partisi yang dihitung sebelumnya dan kemudian dijumlahkan secara individual untuk setiap batang untuk mendapatkan gaya yang terjadi pada batang yang berasal dari semua balok tensometrik sekaligus.

Hasil pengukuran disajikan pada tampilan TFT mini dalam diagram rangka beserta warna yang sesuai dengan sifat gaya. Data yang diproses oleh mikrokontroler ditransmisikan ke strip LED yang terpasang pada rangka. Strip LED dibagi menjadi beberapa bagian yang sesuai dengan warna. Mikrokontroler mengirimkan informasi tentang intensitas dan warna (biru untuk kompresi, merah untuk tegangan, mati untuk 0), yang mengubah cahaya yang dipancarkan oleh LED nilai dari -256 hingga +256 diproses oleh Arduino menjadi nilai dari 0 hingga 256 dengan dua warna berbeda tergantung pada sifat gaya. Pengumpulan, pemrosesan, dan pengiriman data ke strip LED dilakukan dengan

frekuensi 2 Hz untuk menghindari kelebihan beban mikrokontroler.



Gambar 7. Rangka diberi beban, Sadowski & Jankowski [2].

Sub-program yang tersisa adalah tambahan dan digunakan untuk:

- sebuah sub-program yang memungkinkan untuk membuat segala bentuk rangka batang berdasarkan jaring modular, menetapkan penyangga dan bebannya, dan memperkenalkan koefisien gaya yang diterapkan pada setiap batang.

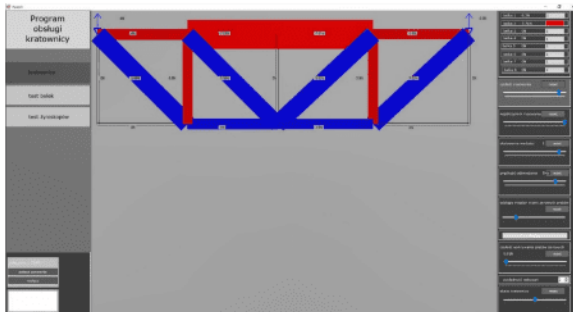
- sub-program pengujian beban untuk jembatan tensometrik. Setelah memilih program, nilai pada balok diatur ulang ke nol, dan kemudian pengumpulan informasi dan pemroses menjadi nilai diagram individu untuk semua balok dimulai. Grafik terdiri dari persegi panjang. Melebihi skala ditandai dengan perubahan warna seluruh grafik.

- sebuah sub-program untuk menguji giroskop. Sama halnya dengan sub program jembatan tensometrik.

Sebuah rangka yang dibebani dengan gaya simetris 10 N di simpul pusat disajikan pada gambar 7.

Untuk menampilkan hasil di layar komputer, sebuah program dibuat di Visual Studio untuk menerima data dari mikrokontroler dan menyajikannya secara real-time. Setelah diluncurkan, sebuah jendela ditampilkan, di mana rangka disajikan dengan penggunaan warna bersama dengan nilai gaya yang

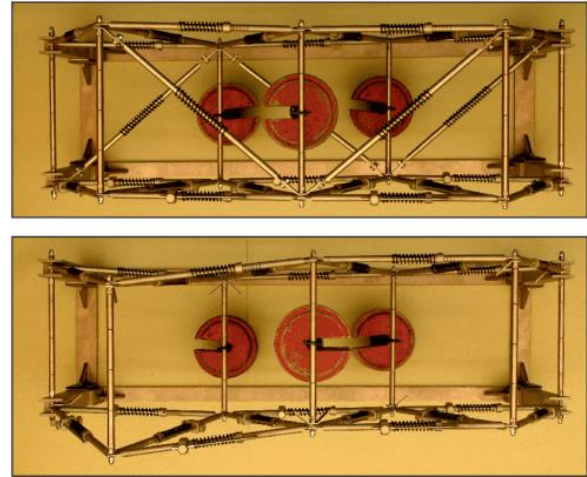
dikumpulkan di batang. Setiap batang memiliki ketebalan tersendiri dan warna yang sesuai (biru untuk kompresi, merah untuk tegangan, mati untuk 0). Kedua parameter bergantung pada gaya yang dihitung pada batang. Selain itu memungkinkan untuk menetapkan penampang ke setiap batang dan menghitung nilai tegangan pada batang tertentu. Program ini juga menampilkan grafik dari uji balok tensometrik dan uji *gyro* di lihat pada gambar 8.



Gambar 8. Tampilan Visual, Sadowski & Jankowski [2].

Bigoni et al., [4] membuat Model yang telah selesai dapat digunakan untuk memberikan eksperimen konfirmasi di kelas pelajar. Secara khusus, batang tersebut dapat dibebani dengan beban mati dan pemanjangan atau pemendekan batang dapat diukur pada struktur dengan inspeksi visual menggunakan penunjuk. Dua sistem beban, satu simetris dan asimetris lainnya, ditunjukkan pada gambar 9. Selain perpanjangan batang, perpindahan simpul dapat diukur dengan komparator mekanis. Pengukuran perpanjangan batang dapat dinormalisasi secara matematis dengan satu perpanjangan referensi dan kemudian dibandingkan dengan rasio yang diprediksi antara gaya di dalam batang, yang dapat dihitung di papan tulis dan tidak memerlukan pengukuran kekakuan apa pun. Model memunculkan perbandingan yang baik antara prediksi teoritis dan nilai-nilai eksperimental, yang sangat penting dalam merangsang minat pelajar dan

memfasilitasi pemahaman mereka tentang kemampuan dan batas pemodelan mekanik.



Gambar 9. Beban penyangga silang, Bigoni [4].

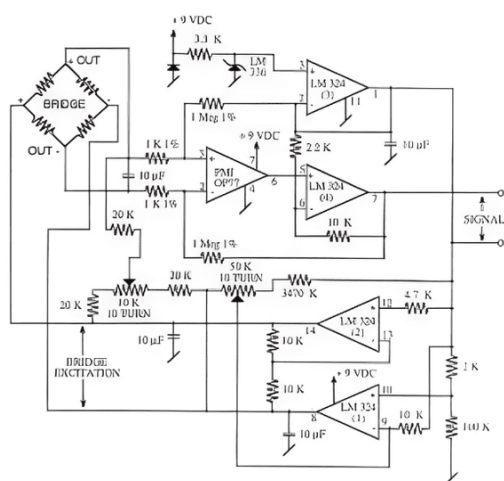
Pinkerton et al., [6] Sebuah Gaya di bagian rangka batang diukur dengan menggunakan transduser gaya yang terdiri dari empat Pengukuran Mikro [9]. EA -13-125AC-350 pengukur regangan. Pengukur ini adalah resistor film tipis *constantan foil* pada dukungan polimida. Alat pengukur menghasilkan perubahan resistensi sebanding dengan perpanjangan (regangan). Dua pengukur panjang 3 mm ditempatkan di setiap sisi bagian bawah. Pengukur ini dapat dilihat pada Gambar 10. Di setiap sisi, satu pengukur sejajar, dan yang lainnya tegak lurus, terhadap sumbu batang. Pengukur regangan dipasang di dekat bagian tengah bagian bawah di belakang batang yang mengalami beban. Pengukur 1 dan 2 dipasang di sisi depan komponen struktur, sedangkan pengukur 3 dan 4 dipasang di belakang. Pengukur 1 dan 3 sejajar dengan sumbu batang. Keempat pengukur dikonfigurasi dalam jembatan *Wheatstone*.

penjumlahan dilakukan secara elektronik dengan menghubungkan keempat alat pengukur di jembatan. Setelah transduser dikalibrasi, transduser dapat digunakan untuk mengukur gaya aksial pada komponen struktur sambil mengkompensasi perbedaan suhu. Eksitasi

jembatan dan amplifikasi diferensial dari keluaran jembatan pengukur regangan dapat diberikan dalam berbagai cara. Selama pengembangan, peralatan khusus ini menggunakan penguat dan satu daya berdasarkan penguat operasional Perangkat Analog OP77 [10]. dan penguat operasional quad LM 324 standar seperti yang diilustrasikan pada Gambar 10. Rangkaian dapat dijalankan oleh baterai sembilan volt. Ini dirancang untuk memberikan tegangan eksitasi jembatan yang diatur dan untuk memperkuat sinyal keluaran jembatan sehingga dapat dibaca menggunakan voltmeter digital biasa yang mampu membaca 1mv. Desainnya juga mencakup penyesuaian untuk mengontrol penguatan amplifier dan level nol.



Gambar 11. Rangka Segitai, Pinkerton [6].



Gambar 10. Skema rangkaian, Pinkerton [6].

Langkah konstruksi yang paling membutuhkan perhatian terhadap detail adalah pemasangan pengukur regangan ke bagian rangka bawah. Transduser gaya dipasang menggunakan prosedur yang direkomendasikan pabrik [11]. Proses pembersihan, pemosisian, pengikatan, dan penyolderan ditentukan.

Langkah pertama dalam percobaan adalah kalibrasi transduser gaya pengukur regangan. Bagian bawah yang berisi pengukur regangan dikeluarkan dari sistem rangka. Bagian bawah saja digantung dari penyangga yang kaku. Jembatan terhubung ke amplifier atau satu daya dan pembacaan beban nol ditentukan. penguatan amplifier disesuaikan ke sekitar 3 mV/kg. Pemasangan pengukur dapat menyebabkan sedikit beban awal elemen resistansi yang mengarah ke tegangan keluaran bukan nol pada beban nol. Asalkan konsisten, kondisi ini tidak akan mempengaruhi keakuratan transduser. Transduser gaya pengukur regangan dibebani menggunakan gantungan dan massa mulai dari 1 kg hingga 20 kg. Hubungan antara beban yang diketahui dan tegangan keluaran diperoleh. Data tersebut kemudian dicocokkan dengan garis lurus menggunakan pemasangan kuadrat terkecil. Hasil kalibrasi pengukur regangan adalah: 3336 ± 50 N/V. Setelah kalibrasi, bagian rangka yang berisi transduser yang dikalibrasi kemudian dipasang kembali ke dalam sistem rangka untuk melakukan percobaan yang sebenarnya. Untuk akuisisi data, peralatan dipasang pada blok pendukung seperti yang

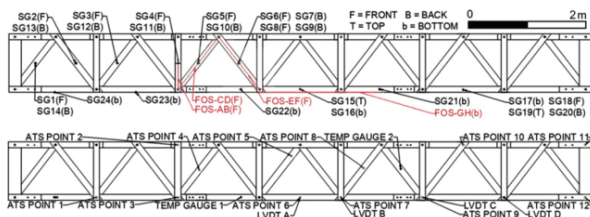
ditunjukkan pada Gambar 11. Massa yang digunakan untuk memuat peralatan tergantung di antara penyangga. Level sederhana digunakan untuk meratakan peralatan. Massa kemudian diterapkan dengan menambahkan massa standar ke gantungan dengan penambahan satu kilogram. *Truss* dimuat hingga 20 kilogram. Setelah setiap massa diterapkan, tegangan berikutnya dicatat. Pembacaan tegangan diubah menjadi pembacaan gaya menggunakan hasil kalibrasi. Data untuk gaya yang diukur dalam batang rangka versus gaya pembebanan yang diterapkan diplot pada skala linier.

Helmer-Smith et al., [8] Instrumentasi digunakan, dibandingkan, dan dievaluasi selama prosedur eksperimental dan selanjutnya digunakan sebagai bagian dari SHM keseluruhan program penelitian. Karena Penelitian berfokus pada bagian laboratorium. Lokasi instrumen dipilih berdasarkan hasil pemodelan awal dan beberapa instrumen berlebihan ditempatkan untuk tujuan perbandingan. Dengan demikian, instrumentasi dapat disempurnakan dan dioptimalkan dalam hal jumlah sensor karena file data cukup banyak. Berbagai bentuk instrumentasi SHM ditunjukkan dalam Gambar 12.

Helmer-Smith et al., [8] melakukan Sistem akuisisi data QUANTUM X (DAQ) digunakan di seluruh prosedur eksperimental untuk instrumentasi konvensional yang digunakan sebagai bagian dari penyelidikan. Perangkat lunak yang digunakan untuk prosedur pemantauan adalah Catman®AP dan kompatibel dengan semua instrumen pemantauan kecuali ATS, LiDAR, dan FOS, karena ini memerlukan program perangkat lunak pasca-pemrosesan khusus. Seperti yang ditunjukkan, pengukur regangan konvensional (SG) dipasang pada beberapa batang rangka *Warren*. Beberapa pengukur dipasang di depan (F) dan belakang (B) dari komponen

struktur yang sama (yaitu, SG 1(F) dan SG 14(B) dipasang pada komponen LOU1) untuk menentukan efek lentur. Selain itu, rata-rata dari dua hasil regangan mengingat bahwa pengukur dipasang di depan dan belakang memberikan regangan aksial murni. Menggunakan beberapa pengukur juga merupakan tindakan yang berlebihan dalam kasus pengukur yang rusak atau tidak dapat diandalkan. Akhirnya, beberapa pengukur memungkinkan untuk hasil rata-rata dan lebih realistis karena variabilitas yang tinggi dari sifat kayu. FOS dipekerjakan untuk menangkap mekanisme internal di sepanjang seluruh anggota, karena data tidak terbatas pada titik-titik diskrit yang terlokalisasi. Penyediaan data regangan terdistribusi ini merupakan kemampuan unik dari teknik penginderaan optik terdistribusi. Dalam prosedur eksperimental ini, Luna ODiSI-B (*Optical Distributed Sensor Interrogator*) dipertimbangkan. Dibandingkan dengan teknologi penginderaan regangan optik lain yang tersedia secara komersial, ODiSI-B dapat memberikan serangkaian pengukuran regangan di sepanjang spesimen studi. Teknologi ini menggunakan serat optik telekomunikasi standar berbiaya rendah sebagai transduser dan dapat mengatasi regangan pada resolusi spasial panjang pengukur hingga 0,65 mm sepanjang serat dengan panjang total lebih dari 40 m Luna ODiSI-B (*Optical Distributed Sensor Interrogator*) dipertimbangkan. Dibandingkan dengan teknologi penginderaan regangan optik lain yang tersedia secara komersial, ODiSI-B dapat memberikan serangkaian pengukuran regangan di sepanjang spesimen studi. Teknologi ini menggunakan serat optik telekomunikasi standar berbiaya rendah sebagai transduser dan dapat mengatasi regangan pada resolusi spasial (panjang pengukur) hingga 0,65 mm sepanjang serat dengan panjang total lebih dari 40 m (Luna ODiSI-B (*Optical Distributed Sensor Interrogator*) dipertimbangkan.

Dibandingkan dengan teknologi penginderaan regangan optik lain yang tersedia secara komersial, ODiSI-B dapat memberikan serangkaian pengukuran regangan di sepanjang spesimen studi.



Gambar 12. rangka Warren, Helmer-Smith [8].

Teknologi ini menggunakan serat optik telekomunikasi standar berbiaya rendah sebagai transduser dan dapat mengatasi regangan pada resolusi spasial (panjang pengukur) hingga 0,65 mm sepanjang serat dengan panjang total lebih dari 40 m [12]. Oleh karena itu, solusi ODiSI-B dipilih untuk menyelidiki distribusi regangan dan potensi ketidak homogen di seluruh anggota rangka. Informasi terbatas ditemukan pada penggunaan teknologi FOS ini dengan struktur kayu. Beberapa prosedur instalasi telah dicoba. Ini termasuk, menggunakan dua jenis perekat untuk merekatkan FOS: perekat akrilik loctite dan resin epoksi lima menit dan (ii)menguji dua variasi lapisan pelindung di sepanjang FOS: lapisan pelindung nilon (diameter luar perkiraan 900 m) dan lapisan akrilat (diameter luar perkiraan 250 m).

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan model rangka batang dan instrumen di atas dapat di simpulkan sebagai berikut:

Secara garis umum model rangka di kembangkan meliputi tinjauan tentang bentuk *truss*, jumlah batang, bentuk sambungan (*joint*), dan material rangka batang. Materila yang di gunakan truss aparatus adalah kayu yang, selain itu juga digunakan struktur rangka baja AISI 304

dengan elemen pegas, engsel brolle dan batang aluminium dirakit menjadi segitiga sama sisi. Instrumentasi yang umum digunakan adalah pengukur regangan, transduser gaya, sensor serat optic dan mikrokontroler Arduino Mega2560 menerima, memproses, dan mengirim data pada gaya terjadi pada batang. perbedaan hasil pengukuran dengan hasil teoritis secara umum berkisar antar 1% sampai 5 dari beberapa literatur paper yang di tinjau.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. I. Farisi, "Pengembangan Asesmen Diri Siswa (Student Self-Assessment) sebagai Model Penilaian dan Pengembangan Karakter," *Kongr. Ilm. Nas.*, pp. 1–10, 2012, [Online]. Available: <http://utsurabaya.files.wordpress.com/2012/12/kin-unesa.pdf>.
- [2] K. Sadowski and S. Jankowski, "Learning statics by visualizing forces on the example of a physical model of a truss," *Buildings*, vol. 11, no. 9, 2021, doi: 10.3390/buildings11090395.
- [3] Howe truss - Wikipedia. (2022). diperoleh 1 August 2022, dari https://en.wikipedia.org/wiki/Howe_truss.
- [4] D. Bigoni, F. D. Corso, D. Misseroni, and M. Tommasini, "A teaching model for truss structures," *Eur. J. Phys.*, vol. 33, no. 5, pp. 1179–1186, 2012, doi: 10.1088/0143-0807/33/5/1179.
- [5] Warren truss. (2022). diperoleh 1 August 2022, dari https://hmn.wiki/id/Warren_trusses.
- [6] L. R. Pinkerton, J. J. Krupczak, B. S. Mulder, and J. Pawloski, "An apparatus to measure force in a

- simple truss system,” *Proc. - Front. Educ. Conf.*, vol. 1, no. May, 2002, doi: 10.1109/fie.2002.1157997.
- [7] O. R. Battaglia, A. Bonura, and R. M. Sperandeo-Mineo, “A pedagogical approach to the Boltzmann factor through experiments and simulations,” *Eur. J. Phys.*, vol. 30, no. 5, pp. 1025–1037, 2009, doi: 10.1088/0143-0807/30/5/011.
- [8] H. Helmer-Smith, N. Vlachopoulos, M. A. Dagenais, and B. Forbes, “Comparison of multiple monitoring techniques for the testing of a scale model timber Warren truss,” *Facets*, vol. 6, pp. 1510–1533, 2021, doi: 10.1139/FACETS-2021-0001.
- [9] T. P. Kieffer and K. J. Peters, “The effect of short range order on the thermal output and gage factor of Ni₃FeCr strain gages,” *Strain*, vol. 54, no. 1, pp. 9–10, 2018, doi: 10.1111/str.12253.
- [10] A. Devices, “Next Generation OP07 Ultralow Offset Voltage Operational Amplifier TOP VIEW (Not to Scale),” 2015, [Online]. Available: www.analog.com.
- [11] P. K. Stein, “Strain Gage Instrumentation Handbook,” 1967.
- [12] B. Forbes, N. Vlachopoulos, and A. J. Hyett, “The application of distributed optical strain sensing to measure the strain distribution of ground support members,” *Facets*, vol. 3, no. 1, pp. 195–226, 2018, doi: 10.1139/facets-2017-0093.