

Method of Calculating the Forces on the 2D/3D Truss: A Review

Jurnal Review: Metode Perhitungan Gaya-gaya pada Truss 2D/3D

Mega Oktaviani¹, Delima Yanti Sari^{1*}, Yolli Fernanda¹, Andril Arafat¹

Abstract

The truss system is the most efficient structural system and is widely used in various forms of building construction. In analysing a structure there are various methods that have been used, including the stiffness matrix method and the classical mechanics method. Structure analysis can be aided by SAP2000, Etabs, and Opensess, or by building MATLAB with a GUI. The purpose of this study is to provide a review of several calculation methods that have been used, to calculate the forces on 2D/3D truss. The research method used is a review literature that is descriptive analysis by collecting several relevant sources. In this paper, a literature review of the 2D/3D truss calculation method was carried out in terms of the calculation method and the software used. The results obtained are the stiffness matrix method which is the most popular method and has been widely used to date, because the calculation process is carried out in a systematic and patterned manner. And the application that is commonly used is MATLAB, with the program validation process using SAP2000, the results of the analysis between programs show no different results.

Keywords

Structure analysis, Truss 2D/3D, Matrix method, Classical mechanics

Abstrak

Sistem rangka batang (*truss*) adalah sistem struktur yang paling efisien, dan banyak digunakan dalam berbagai bentuk konstruksi bangunan. Dalam menganalisis suatu struktur terdapat bermacam-macam metode yang telah digunakan, diantaranya metode matriks kekakuan dan metode mekanika klasik. Untuk memudahkan analisis struktur dapat dilakukan dengan bantuan software analisis struktur yang telah ada, seperti SAP2000, Etabs, dan Opensess, atau dengan mengembangkan bahasa pemrograman Matlab dengan GUI. Tujuan penelitian ini adalah memberikan tinjauan (*review*) tentang beberapa metode perhitungan yang telah digunakan, untuk menghitung gaya-gaya pada *truss* 2D/3D. Metode penelitian yang digunakan adalah *literatur review* yang bersifat analisis deskriptif dengan mengumpulkan beberapa sumber yang relevan. Dalam paper ini dilakukan kajian literatur tentang metode perhitungan *truss* 2D/3D dari segi metode perhitungan dan *software* yang digunakan. Hasil yang didapatkan yaitu Metode matriks kekakuan merupakan metode yang paling populer dan telah banyak digunakan hingga saat ini, dikarenakan proese perhitungan dilakukan secara sistematis dan terpola. Dan aplikasi yang umum digunakan adalah Matlab, dengan proses validasi program menggunakan SAP2000, hasil analisis antara program menunjukkan hasil yang tidak berbeda.

Kata Kunci

Analisis struktur, Truss 2D/3D, Metode matriks, Mekanika klasik

¹ *Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar, Padang, Sumatera Barat, Indonesia*

* delimayanti@ft.unp.ac.id

Submitted : March 16, 2023. Accepted : June 15, 2023. Published : June 17, 2023.

PENDAHULUAN

Sistem rangka batang (*truss*) adalah sistem struktur yang paling efisien dan banyak digunakan oleh para insinyur struktur untuk memberikan bentuk yang indah di fasad bangunan eksternal, dan telah banyak dijumpai dalam berbagai bentuk konstruksi bangunan. Sistem rangka batang (*truss*) adalah suatu sistem struktur yang terdiri dari susunan elemen linier yang membentuk kombinasi segitiga, dan tidak dapat berubah bentuk apabila diberi beban eksternal. Sejumlah elemen batang disambungkan dengan engsel dimana pada setiap titik simpulnya dianggap berperilaku sebagai sendi dan setiap elemen hanya mengalami dua pembebanan yaitu beban tarik dan beban tekan, dengan kata lain hanya mampu menahan gaya dalam arah normal dan tidak mampu menahan gaya geser atau momen [1]. Sistem ini bisa digunakan sebagai sistem pendukung untuk lantai, atap dan jembatan rangka, sistem umumnya diklasifikasikan sebagai *plane truss* (2D) dan *space truss* (3D). *Plane truss* adalah elemen dan joint yang berada dalam suatu bidang dua dimensi, sedangkan *space truss* merupakan susunan elemen dan joint yang secara keseluruhan membentuk volume tiga dimensi yang membentang dua arah [2].

Dalam melakukan perhitungan analisis struktur terdapat bermacam-macam metode yang telah digunakan, diantaranya metode matriks kekakuan dan metode mekanika klasik, masing-masing metode memiliki langkah-langkah perhitungan yang berbeda seperti halnya metode matriks kekakuan. Metode matriks kekakuan merupakan metode yang berkembang dan populer bersamaan penggunaan komputer otomatis untuk perhitungan aritmatika menggunakan prinsip matriks yang sistematis dan sederhana, analisis pada metode matriks kekakuan sangat sistematis dan terpola sehingga mudah diprogram komputer [1]. Matriks kekakuan struktur dirakit dengan menjumlahkan secara langsung matriks kekakuan batang serta matriks beban ekuivalen pada ujung batang, dengan syarat semua arah dalam sumbu struktur dan ordo matriks sesuai koordinat struktur [3]. Metode mekanika klasik merupakan salah satu metode perhitungan manual yang relatif sederhana, dan efektif untuk mengajarkan dasar-dasar mekanika teknik dan untuk melatih intuisi rekayasa atau *engineering judgement* yang diperlukan untuk mengevaluasi hasil dari analisis struktur [4]. Metode ritter merupakan bagian dari metode mekanika klasik, perhitungan menggunakan metode ritter yaitu luas penampang disetiap elemen dianggap sama dengan elemen lain, dan perlu pemontrolan kembali terhadap struktur rangka batang apabila luas elemen setiap elemen berbeda-beda, metode elemen hingga memiliki tingkat akurasi yang baik karena dapat dilakukan menggunakan program komputer [5]. Proses metode elemen hingga dapat membantu insinyur untuk memilih metode yang tepat dalam memecahkan beberapa masalah perhitungan [6].

Perhitungan manual dalam analisis struktur terbilang rumit, menghabiskan waktu yang lama, dilakukan berulang-ulang dan rentan terjadi kesalahan dalam proses perhitungan. Untuk memudahkan perhitungan dapat dilakukan dengan bantuan perangkat lunak analisis struktur. Perhitungan yang dilakukan secara manual menggunakan metode perhitungan analisis struktur, dikembangkan ke dalam bahasa pemrograman. Program dapat membaca teks input file yang dihasilkan oleh algoritma dan membangun prosedur analisis struktural pada pilihan platform, sehingga dapat mengurangi waktu analisis dan meningkatkan keakuratan perhitungan serta dapat menyimpan data yang dianalisis. Saat ini sudah ada beberapa program analisis struktur yang banyak digunakan dalam perhitungan struktur, seperti SAP2000, Etabs, Opensess dan bahasa pemrograman yang dibuat menggunakan Matlab.

Tujuan penelitian adalah memberikan tinjauan tentang beberapa metode perhitungan untuk analisis gaya-gaya pada truss 2D/3D, langkah-langkah metode perhitungan serta aplikasi/*software* yang digunakan. Dalam paper ini dijelaskan metode perhitungan matriks kekakuan dan metode mekanika klasik secara berurutan, kelebihan dan kekurangan, serta

hasil dari aplikasi/software yang digunakan, sehingga penjelasan yang diberikan dapat menjadi referensi bagi pembaca dalam memilih metode perhitungan dan software yang akan digunakan sesuai dengan kebutuhan.

METODE PENELITIAN

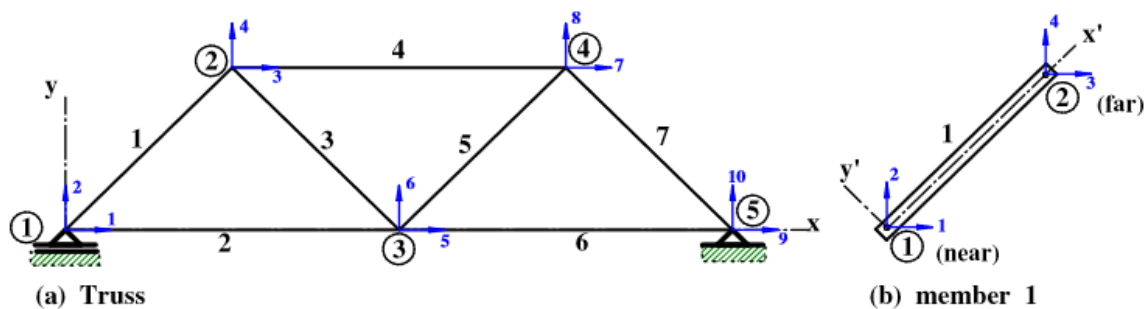
Jenis penelitian ini menggunakan metode *literatur review* atau studi kepustakaan. *Literatur review* adalah mengkaji atau meninjau secara kritis pengetahuan dan temuan yang ada di dalam sebuah literatur yang berorientasi akademik dan dijabarkan kontribusi teoritis serta metodologi untuk ide tertentu. Penelitian ini bersifat analisis deskriptif, yakni menjabarkan data secara teratur yang diperoleh dengan mengumpulkan buku maupun jurnal dari berbagai sumber serta memberikan penjelasan agar dapat dipahami dengan mudah bagi pembaca [7]. Dalam paper ini menggunakan 10 rujukan yang didapatkan dari beberapa sumber jurnal yang relevan tentang perhitungan rangka batang dan dijabarkan secara teratur pada bagian hasil dan pembahasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode Perhitungan

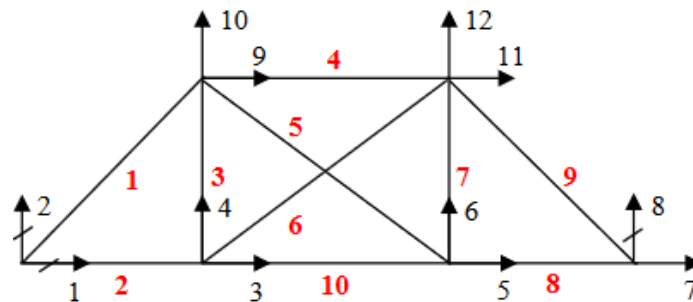
Berdasarkan literatur yang telah dicermati, diketahui dalam menganalisis struktur terdapat bermacam-macam metode yang telah digunakan, diantaranya Metode Matriks Kekakuan dan Metode Mekanika Klasik. Pembahasan *review* mengenai metode yang digunakan bertujuan untuk mengetahui proses perhitungan masing-masing metode. Metode yang sering digunakan adalah metode matriks kekakuan struktur. Metode matriks kekakuan merupakan metode yang berkembang dan populer bersamaan penggunaan komputer otomatis untuk perhitungan aritmatika menggunakan prinsip matriks yang sistematis dan sederhana [1].

Adha melakukan analisis struktur menggunakan metode matriks kekakuan. Program analisis struktur dibuat menggunakan bahasa pemrograman MATLAB dengan penggunaan GUI. Hasil program analisis struktur tersebut dibandingkan dengan hasil SAP2000 [1]. Makunza dalam penelitiannya menjelaskan metode matriks kekakuan membutuhkan pengelompokan struktur menjadi beberapa rangkaian elemen hingga diskrit dan mengidentifikasi titik akhir sebagai nodal. Sifat-sifat perpindahan gaya setiap elemen ditentukan dan dihubungkan satu sama lain menggunakan persamaan keseimbangan gaya untuk analisis keseluruhan struktur, kemudian dikelompokkan yang disebut matriks kekakuan struktur [8]. Langkah pertama metode kekakuan adalah mengidentifikasi simpul serta elemen batang, pada Gambar 1 setiap simpul diidentifikasi dengan nomor tertulis dan setiap batang dilambangkan angka biasa



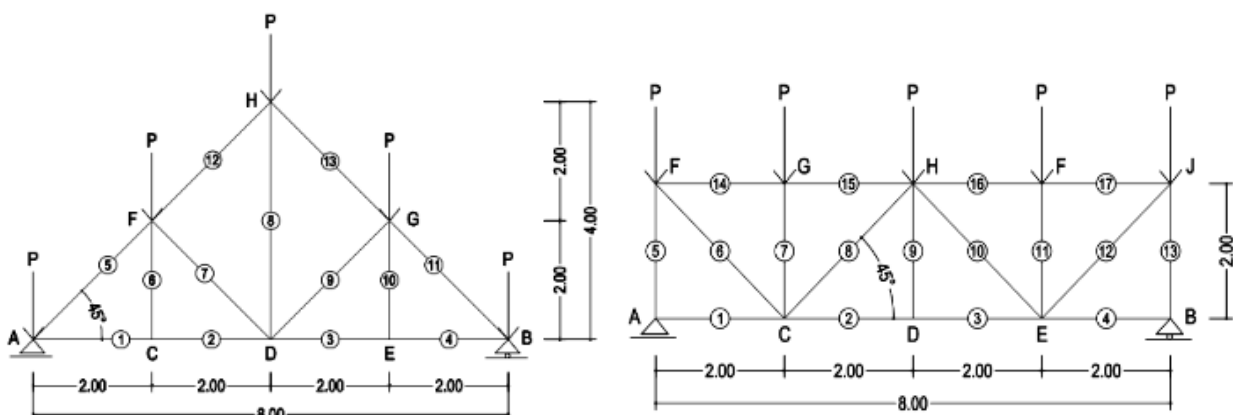
Gambar 1. Identifikasi nodal, batang dan derajat kebebasan, Makunza [8]

Pada Gambar 2, Manubulu melakukan analisa struktur dengan menggunakan metode matriks kekakuan tahapan perhitungan rangka batang 2D dimulai dengan mempersiapkan model analisa rangka batang, melakukan evaluasi matriks kekakuan struktur, mencari vektor beban berorde DOF, mencari titik joint, dan melakukan perhitungan displacement dan gaya ujung batang [3].



Gambar 2. Model analisa rangka batang, Manubulu [3]

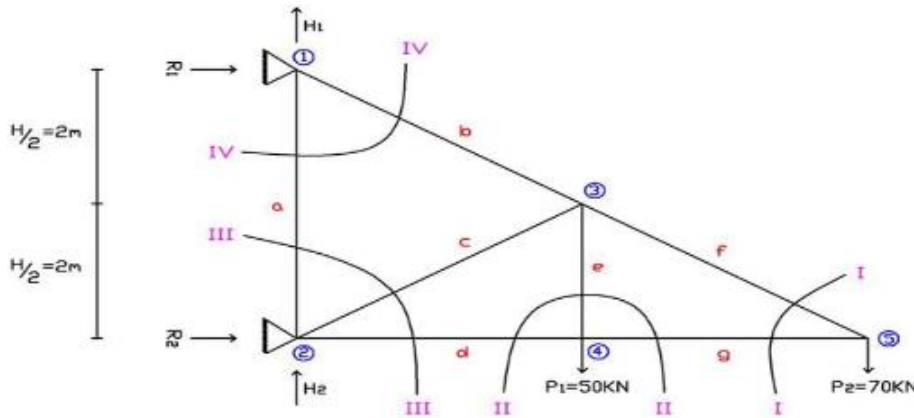
Deshariyanto dalam penelitiannya menggunakan metode mekanika klasik dalam perhitungan struktur rangka batang, metode klasik yang digunakan diantaranya metode creamona, metode titik buhul, metode potong, serta metode garis pengaruh. Tahapan analisis metode mekanika klasik yaitu metode titik simpul yang menggunakan prinsip keseimbangan gaya-gaya batang disetiap titik simpul batang. Langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut: menentukan struktur dengan menentukan statis tertentu dalam dan luar, batang diberikan penomoran dan titik simpul, menentukan reaksi perletakan. Mencari gaya-gaya dalam dengan menentukan titik batang yang belum diketahui besaran gaya, dan besar gaya batang dapat diketahui. Penelitian bertujuan untuk mengetahui besar reaksi dan gaya-gaya serta perbedaan hasil reaksi dan gaya-gaya dalam struktur rangka batang menggunakan metode mekanika klasik dan program SAP2000. Jenis rangka batang yang digunakan statis tertentu dengan model rangka atap dan rangka jembatan yang menghasilkan perbedaan besaran gaya dalam batang [4], model struktur rangka batang statis tertentu dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Model rangka atap dan rangka jembatan statis tertentu, Deshariyanto [4]

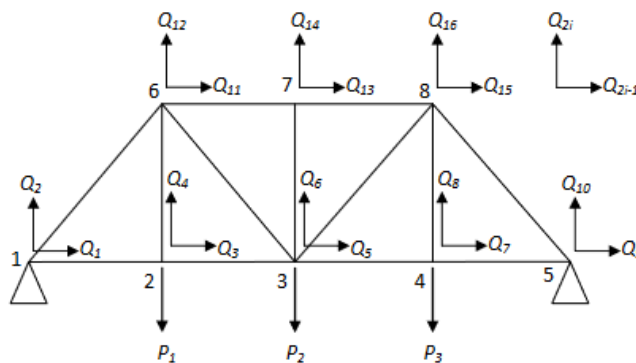
Sitorus menjelaskan metode keseimbangan potongan (ritter) merupakan metode yang digunakan untuk menentukan gaya batang dengan potongan, metode ini dapat memotong tiga batang mengingat hanya ada tiga persamaan keseimbangan yaitu, $\sum M = 0$, $\sum H = 0$, $\sum V = 0$. Metode ritter digunakan hanya untuk mengetahui sejumlah gaya batang, langkah-langkah perhitungan analisis struktur menggunakan metode ritter dimulai dengan mencari gaya reaksi tumpuan, memberikan potongan elemen yang dicari besar gayanya, membuat diagram

benda bebas (*free body*) untuk elemen potongan, dan menentukan diagram benda bebas dalam keadaan keseimbangan translasi. Tujuan penelitian menggunakan metode ini karena luas penampang setiap elemen dianggap sama dan perlu dilakukan pengontrolan terhadap struktur rangka batang yang memiliki luas penampang berbeda pada setiap elemen [5]. Berikut analisa rangka bidang menggunakan metode ritter dilihat pada **Gambar 4**.
Reference source not found.



Gambar 4. Analisa metode ritter pada rangka bidang, Sitorus [5]

Barus dalam penelitiannya menjelaskan metode elemen hingga terjadi bila suatu kontinum dibagi menjadi bagian elemen yang lebih kecil, proses pembagian elemen disebut diskretisasi. Dinamakan elemen hingga karena dapat mengubah dengan jumlah derajat kebebasan tertentu sehingga proses pembagi lebih sederhana, misal batang yang panjang dengan bentuk tidak lurus dipotong menjadi pendek sehingga membentuk batang pendek yang relatif lurus maka disebut elemen hingga. Elemen hingga mempunyai elemen yang lebih kecil dari kontinumnya. Langkah-langkah analisis struktur menggunakan elemen hingga dimulai dengan mencari mode simpul, elemen global, mencari matriks kekakuan lokal, mencari matriks kekakuan global, mencari matriks kekakuan struktur, membuat syarat batas, menentukan reaksi, dan menentukan gaya batang. Tujuan dilakukan analisis menggunakan metode elemen hingga agar dapat memperoleh nilai pendekatan tegangan pada struktur [9]. Dapas menggunakan metode elemen hingga untuk melakukan analisis struktur rangka batang, setiap elemen pada rangka batang diasumsikan mengalami gaya tekan dan gaya tarik yang bekerja pada sumbu aksial batang, pada sambungan batang hanya bekerja beban dan reaksi yang disebut simpul. Elemen-elemen yang dihubungkan oleh simpul pada ujung seperti sendi [10]. Model struktur rangka bidang yang dianalisis dapat dilihat pada Gambar 5.



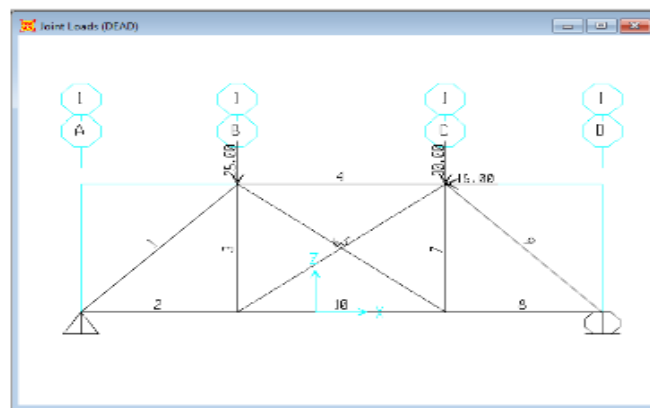
Gambar 5. Struktur rangka batang bidang, Dapas [10]

Alfrazi menggunakan metode elemen hingga untuk menganalisa rangka batang, metode ini cocok untuk mempelajari kinerja rangka batang, pada umumnya metode elemen hingga digunakan untuk menyelidiki berbagai aspek respon struktur akibat beban yang diterapkan dan membantu desainer untuk mendapatkan data tentang deformitas dan kondisi tegangan rangka batang berdasarkan pembebanannya. Prosedur analisis metode elemen hingga dimulai dengan menjadikan truss didiskritisasi menjadi bagian yang cukup kecil, nodal dan elemen diberi nomor dengan benar, menentukan luas penampang batang, modulus elastisitas dan densitas baja, menghitung matriks kekakuan elemen, menyusun matriks kekakuan elemen menjadi satu matriks, mencari perpindahan dan gaya yang tidak diketahui, menghitung tegangan dan regangan setiap batang [11].

Perhitungan Menggunakan Program Analisis Struktur

Berdasarkan literatur yang telah dicermati, diketahui pembuatan program untuk analisis struktur dapat dilakukan dalam berbagai aplikasi komputer. Pembahasan review mengenai program komputer bertujuan mengetahui aplikasi apa saja yang dapat digunakan serta proses pembuatan program untuk analisis struktur. Adha membuat program perhitungan yang diberi nama ATAP (*A Truss Analysis Program*) berdasarkan bahasa pemrograman Matlab, terdapat tahap pembuatan program yaitu mencari data program yang akan digunakan untuk mengetahui urutan perhitungan, menyusun algoritma program, membuat GUI atau grafik tampilan desain serta menjalankan program. Setelah program dibuat dilakukan validasi atau pengujian program yang bertujuan untuk mengetahui hasil keluaran (output) telah sesuai atau tidak dengan menggunakan aplikasi SAP2000. Hasil yang didapat nilai perbandingan perpindahan program dan SAP2000 seluruhnya dibawah 5% [1].

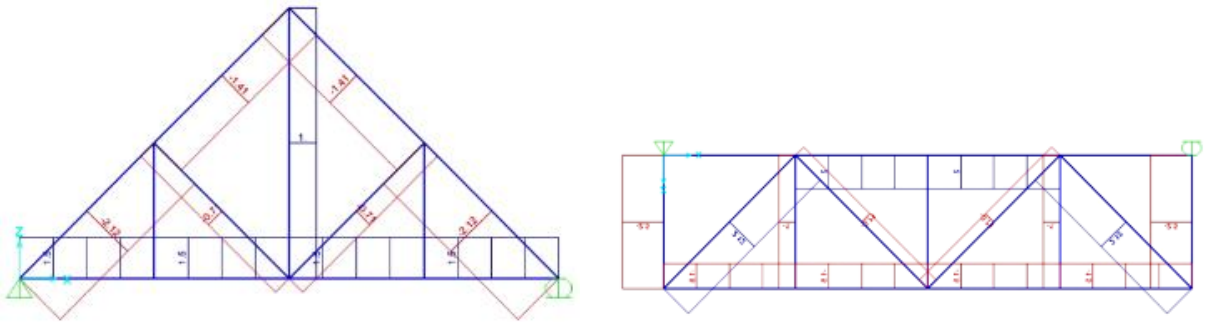
Manubulu melakukan validasi perhitungan analisa struktur MS Excel dengan program SAP2000, dengan membuat pemodelan struktur rangka batang 2D seperti pada Gambar 6



Gambar 6. Pemodelan Rangka batang 2D Program SAP2000, Manubulu [3]

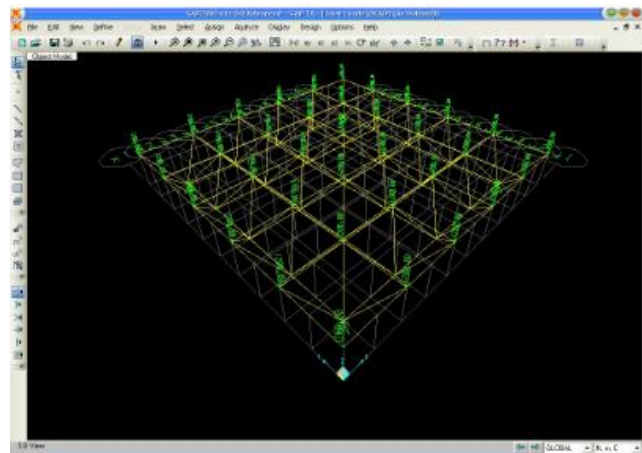
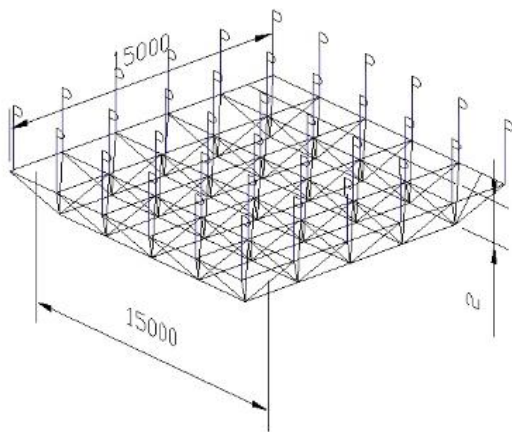
Hasil analisa menggunakan program SAP2000 berupa *displacement joint*, *axial force diagram* dan *joint reaction*. Perbandingan hasil nilai *displacement joint* dari analisa metode matriks kekakuan dan SAP2000 berkisar antara 2,77%-9,39% dan nilai gaya aksial berkisar antara 0,00%-0,03%, dan tidak ada perbedaan nilai *restrained coordinates* [3].

Deshariyanto menggunakan program SAP2000 untuk menganalisis struktur rangka batang statis tertentu dengan model rangka atap dan rangka jembatan [4], perhitungan model rangka atap menggunakan SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 7. **Error! Reference source not found.**



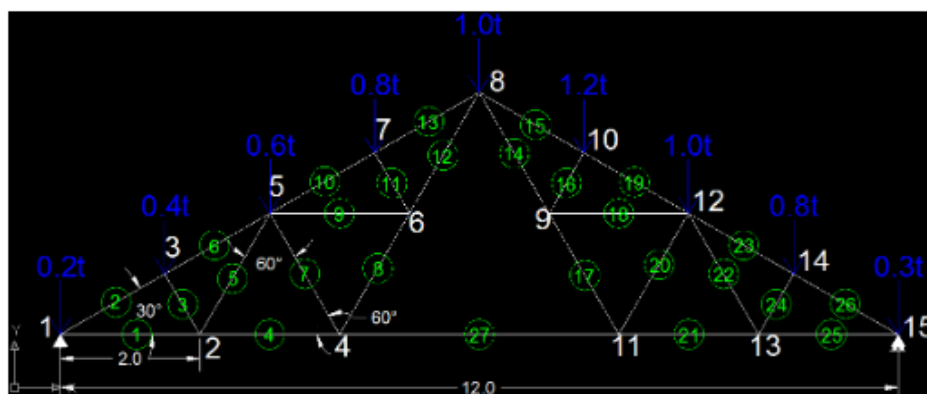
Gambar 7. Model rangka batang dan rangka atap statis tertentu, Deshariyanto [4]

Barus menggunakan program SAP2000 untuk perhitungan analisis rangka ruang , SAP2000 merupakan program komputer untuk menganalisis struktur keluaran CSi (*Computer and Struktuir Inc*) yang dapat mempermudah perhitungan rumit ke konsep perhitungan struktur, pembagian beban dan analisa ouput. Tahapan analisa menggunakan SAP2000 pada perhitungan struktur dimulai dengan menggambar model geometri struktur, mengumpulkan data perhitungan, menentukan input data, dan melakukan analisa mekanika teknik [9]. Hasil perhitungan menggunakan program SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 8



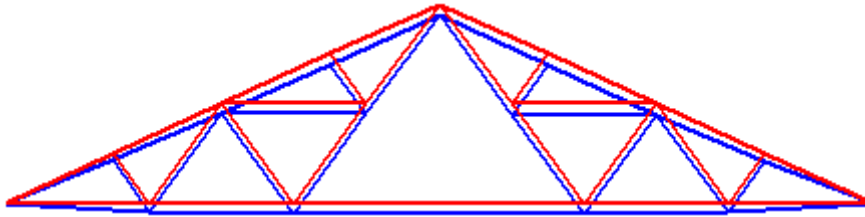
Gambar 8. Tampilan rangka atap dan tampilan rangka atap SAP2000, Barus [9]

Adamu menggunakan perangkat lunak Matlab untuk perhitungan lendutan aksial elemen internal [12]. Radfar menggunakan program matlab dan opensees untuk melakukan perhitungan pada truss 2D, deskripsi model rangka yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 9. **Error! Reference source not found.**



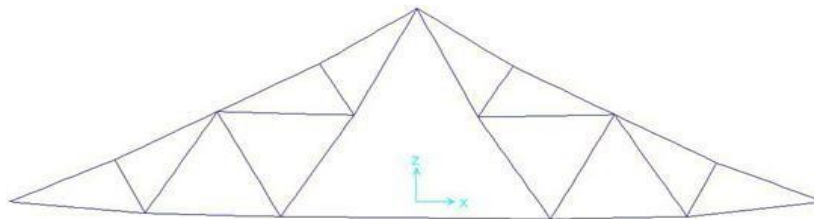
Gambar 9. Model truss 2D, Radfar [11]

Gambar 9 menunjukkan sketsa truss 2D, modulus elastisitas truss adalah $2 \times 10^7 \text{ kg/m}^3$, luas penampang untuk batang 1, 3, 4, 7, 9, 11, 16, 18, 20, 21, 24, 25 dan 27 adalah 2 cm^2 , nilai untuk batang lainnya adalah 4 cm^2 . Untuk menghitung menggunakan program Matlab, input data utama adalah joint, material property, batang, dan nodal data, data sambungan terdiri dari jumlah total sambungan dan koordinat global masing-masing sambungan. Ada delapan sambungan di rangka semua input diberikan dalam file posisi setiap sambungan ditentukan melalui global koordinat sendi. Untuk rangka batang jumlah derajat kebebasan global dapat dihitung sebagai jumlah sambungan dikali dua sehingga ada 30 total derajat kebebasan [11]. Hasil analisa menggunakan matlab dapat dilihat pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Analisa truss 2D menggunakan Matlab, Radfar [11]

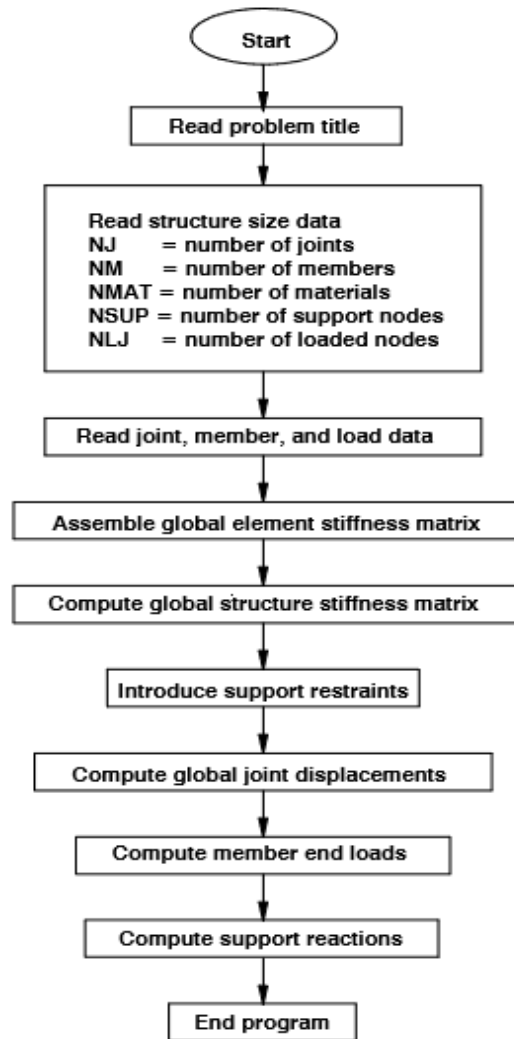
Selanjutnya hasil dari perhitungan akan divalidasi menggunakan aplikasi SAP2000, yang dapat dilihat pada **Gambar 11**. **Error! Reference source not found.**



Gambar 11. Analisa truss menggunakan SAP2000, Radfar [11]

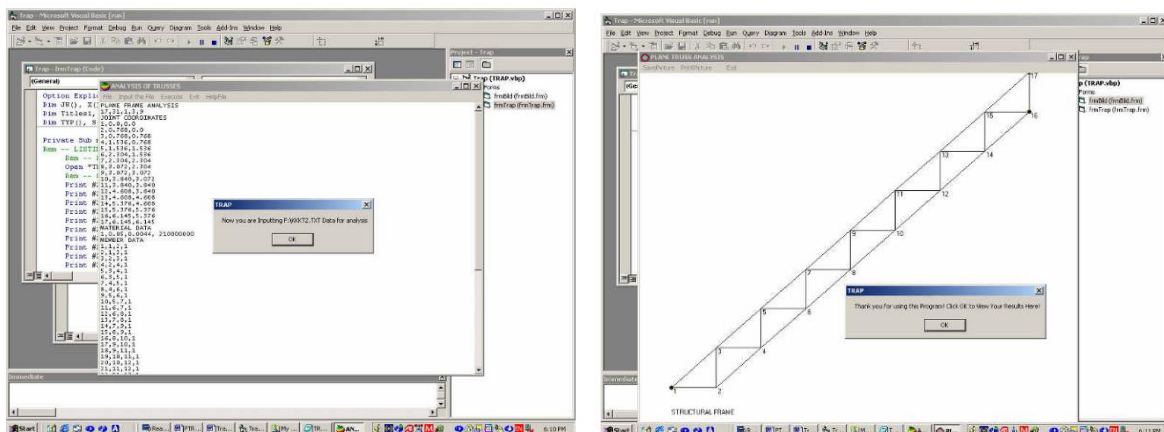
Sabah dalam penelitiannya membuat program komputer YAY2020 yang dikembangkan dengan menggunakan kompilator Fortran, metode analisis elemen hingga memeriksa respon struktur planar dibawah beban statis. Hasil yang diperoleh oleh YAY2020 dibandingkan dengan hasil program SAP2000 [13].

Makunza membuat program *the TRAP (TRuss Analysis Program)* yang dapat membantu para insinyur dalam menganalisis struktur tipe rangka bidang 2D, program digerakan oleh menu dengan semua nodal, elemen dan membuat data yang dimasukan melalui file input, *TRAP* mencakup pembuatan plot untuk menampilkan geometri truss dalam bentuk aslinya. Program bertujuan mengurangi waktu analisis dan meningkatkan keakuratan perhitungan serta pemyimpana data yang dianalisis, program cocok digunakan oleh insinyur desain dalam menganalisis rangka bidang berbagai ukuran dan efektif dalam analisis struktur statis tertentu dan tak tentu. Langkah-langkah dalam penggunaan program adalah mencari data truss, identifikasi nodal, spesifikasi bahan, identifikasi elemen, dan beban nodal global. Setelah memasukan semua data, program dapat menganalisis struktur dan memberikan output yang mencakup perpindahan nodal dan gaya aksial elemen, dan menampilkan plot bentuk truss asli yang menampilkan semua nodal [8]. **Gambar 12** menunjukkan step by step analisis truss menggunakan program aplikasi.



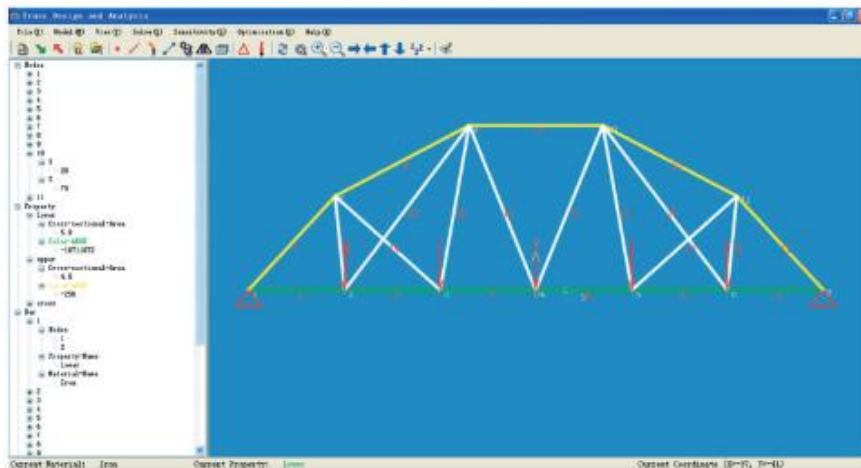
Gambar 12. Flowchart analisis truss dengan program, Makunza [8]

Dalam proses analisis pertama struktur data jumlah simpul, elemen, bahan dan pendukung harus ditentukan, elemen dan batasan harus ditentukan sehingga beban global dapat ditentukan. Keluaran program meliputi perpindahan setiap simpul, gaya-gaya aksial, panjang setiap elemen dan reaksi pada tumpuan. Jika konfigurasi program salah, periksa file input dengan hati-hati, setelah dirasa benar program dapat dijalankan kembali. Gambar 13 adalah contoh konfigurasi rangka batang yang telah dianalisa menggunakan program TRAP.



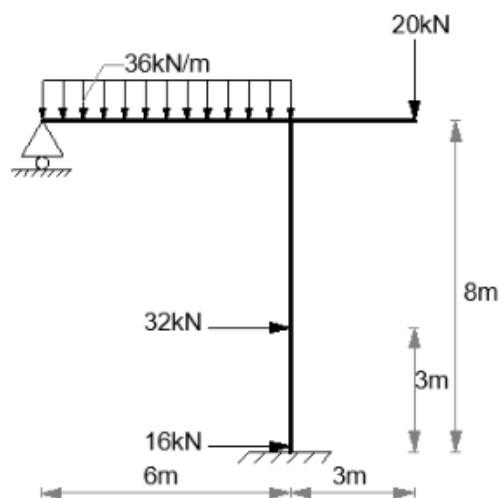
Gambar 13. Input data dan plout output program truss, Makunza [8]

Kokasih membuat program yang digunakan untuk membantu siswa dalam memahami teori metode elemen hingga, pemodelan menggunakan perangkat lunak dan menutuhkan pengetahuan mendalam tentang teori dan proses numerik. Pembuatan model geometri, memilih jenis elemen, menerapkan sifat material, menerapkan kondisi batas pembenan, dan proses output [14]. Wenjie membuat program untuk struktur rangka batang, pertama-tama rangka batang diberi bahan yang sesuai dan memiliki luas penampang. Batang yang sama didistribusikan ke dalam grup, dalam tampilan geometris dua simpul atau titik dapat menentukan posisi batang rangka. Dengan demikian koordinat nodal input dapat digambar, node, batang dan material digabungkan bersama untuk membuat elemen bar [15]. Bentuk utama program dapat dilihat pada Gambar 14.



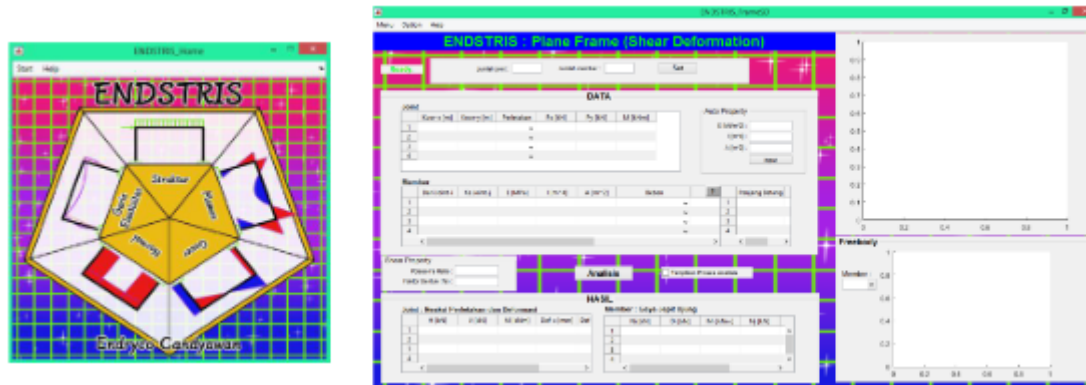
Gambar 14. Bentuk utama program, Wenjie [15]

Candyawan membuat program analisis struktur rangka bidang berbasis GUI Matlab dengan tujuan program yang dibuat dapat mempermudah dan lebih *user friendly* sehingga pengguna dapat memahami dan menggunakan program tersebut. Perhitungan struktur rangka batang bidang menggunakan metode matriks kekakuan dan dikembangkan ke dalam program MATLAB R2014a yang mempunyai tampilan GUI, program yang telah dibuat akan divalidasi menggunakan aplikasi SAP2000. Studi kasus yang dilakukan yaitu menganalisis struktur portal bidang 3 batang, dapat dilihat pada Gambar 15.



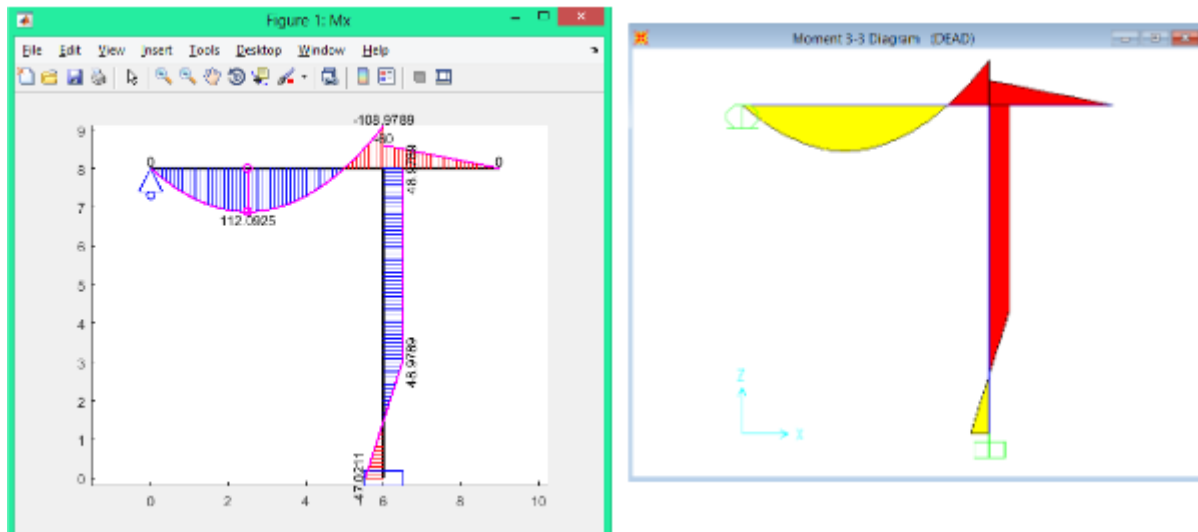
Gambar 15. Struktur portal bidang 3 batang, Candyawan [16]

Program dikembangkan untuk menghitung analisis struktur rangka bidang hasil yang di dapat berupa nilai reaksi perletakan, gaya-gaya batang, Gambar *freebody* setiap batang, deformasi perpindahan dan rotasi, diagram momen dan geser, elastisitas, gaya-gaya dalam dan dapat menampilkan proses perhitungan menggunakan metode matriks kekakuan langsung. Program diberi nama ENDSTRIS, tampilan awal program terlihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Program Endstris, Candyawan [16]

Program dapat menganalisis struktur rangka bidang, untuk validasi hasil yang diperoleh akan dilakukan perhitungan deformasi geser [16]. Untuk validasi hasil analisis, program akan dibandingkan dengan SAP2000 yang akan divisualisasikan pada Gambar 17. Hasil analisis antara program dengan SAP2000 menunjukkan hasil yang tidak berbeda, program melakukan proses perhitungan untuk rangka bidang dengan baik dan dapat menganalisis berbagai model portal bidang dan beberapa jenis beban dengan mudah cepat dan efisien.



Gambar 17. Perbandingan diagram momen Matlab dan SAP2000, Candyawan [16]

Perbedaan Metode Matriks Kekakuan dan Metode Mekanika Klasik

Dalam menganalisis suatu struktur penggunaan metode matriks kekakuan dan metode mekanika klasik memiliki langkah-langkah dan tujuan perhitungan yang berbeda. Metode matriks kekakuan merupakan metode yang berkembang dan populer bersamaan penggunaan otomatis untuk perhitungan aritmatika dengan menggunakan prinsip matriks yang sistematis, terpola dan sederhana sehingga mudah untuk diprogram komputer. Metode matriks kekakuan dapat melakukan perhitungan berulang-ulang dalam suatu perhitungan yang sama, dengan jenis rangka statis tertentu dan statis tak tentu. Sedangkan metode mekanika klasik

merupakan salah satu metode perhitungan manual yang relatif sederhana, dan efektif untuk mengajarkan dasar-dasar mekanika teknik dan untuk melatih intuisi rekayasa *engineering judgement* yang diperlukan untuk mengevaluasi hasil dari analisis struktur. Perhitungan menggunakan metode mekanika klasik perlu melakukan pengontrolan kembali apabila luas elemen tiap batang berbeda-beda.

Kelebihan dan Kekurangan Aplikasi yang digunakan

Perhitungan analisis struktur dapat dilakukan dalam berbagai aplikasi komputer, diantaranya aplikasi Matlab dan SAP2000. Matlab merupakan program komputer untuk menganalisis dan mengkomputasi data numerik, yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks. Matlab memiliki keunggulan dapat menganalisis dan eksplorasi data, pengembangan algoritma, pemodan dan simulasi, visualisasi plot dalam bentuk 2D dan 3D, hingga pengembangan antar muka grafis (GUI) yang *user friendly* bagi pengguna. Tetapi dalam penggunaan matlab harus dibuat bahasa pemrogram sendiri yang dapat digunakan sesuai kebutuhan, sehingga dapat digunakan pada ruang lingkup pendidikan. Aplikasi ramah dan tidak terlalu berat digunakan pada komputer dan dapat diakses secara gratis. Sedangkan SAP2000 merupakan aplikasi komersil yang telah banyak digunakan pada analisis struktur suatu bangunan, software SAP2000 sangat lengkap dan mudah untuk digunakan, pengguna hanya perlu melakukan pemodelan struktur, melakukan analisis, dan pemeriksaan optimasi desain. Tampilan SAP2000 sudah *real time* dan dapat mempercepat proses perhitungan. Setelah pembuatan bahasa pemrograman menggunakan Matlab harus dilakukan validasi menggunakan aplikasi yang sudah komersil, contohnya SAP2000.

Hasil yang didapatkan adalah aplikasi Matlab dapat digunakan dalam pembuatan program perhitungan untuk analisis suatu struktur, menggunakan bahasa pemrograman sendiri yang dibuat sesuai kebutuhan. Program yang telah dibuat kemudian divalidasi dengan aplikasi perhitungan struktur yang sudah komersil, misal menggunakan aplikasi SAP2000. SAP2000 adalah aplikasi perhitungan struktur yang sudah *real time*, lengkap dan mudah digunakan. Pengguna hanya perlu melakukan pemodelan struktur yang kemudian dilakukan analisis dengan pemeriksaan desain. Hasil yang didapatkan pembuatan program menggunakan aplikasi Matlab dan divalidasi menggunakan SAP2000 menunjukkan hasil yang tidak berbeda. Aplikasi Matlab dapat digunakan pada ruang lingkup pendidikan karena aplikasi tidak terlalu berat pada komputer dan dapat diakses secara gratis, sedangkan aplikasi SAP2000 dapat digunakan untuk keperluan komersil.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan pembahasan metode perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa dalam menganalisis struktur terdapat bermacam-macam metode yang telah digunakan, diantaranya metode matriks kekakuan dan metode mekanika klasik. Metode matriks kekakuan adalah metode paling populer yang digunakan pada saat ini, dikarenakan proses perhitungan metode matriks kekakuan dilakukan secara sistematis dan terpola. Sedangkan metode mekanika klasik dapat dilakukan untuk pemahaman dasar-dasar mekanika teknik. Perhitungan menggunakan metode mekanika klasik perlu melakukan pengontrolan kembali apabila luas elemen tiap batang berbeda-beda. Ada beberapa aplikasi komputer yang digunakan untuk mempermudah proses analisis struktur, diantaranya Aplikasi Matlab dan SAP2000. Dalam penggunaan matlab harus dibuat bahasa pemrogram sendiri yang dapat digunakan sesuai kebutuhan, sehingga dapat digunakan pada ruang lingkup pendidikan. Aplikasi ramah dan tidak terlalu berat digunakan pada komputer dan dapat diakses secara gratis. Sedangkan SAP2000 merupakan aplikasi komersil yang telah banyak digunakan pada analisis struktur

suatu bangunan, software SAP2000 sangat lengkap dan mudah untuk digunakan, pengguna hanya perlu melakukan pemodelan struktur, melakukan analisis, dan pemeriksaan optimasi desain, aplikasi SAP2000 dapat digunakan untuk keperluan komersil.

Saran

Berdasarkan literatur review yang dilakukan, peneliti hanya memfokuskan tinjauan review mengenai metode perhitungan dan software yang digunakan. Oleh karena itu pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat menjelaskan beberapa aspek lain seperti tujuan dan jenis truss yang digunakan, sehingga dapat memberikan tinjauan review yang lebih rinci.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] A. N. Adha, F. N. Abdi, and H. Sutanto, "Analisis Struktur Rangka Batang 2D Dengan Metode Matriks Kekakuan Menggunakan Aplikasi Matlab," *J. Teknol. SIPIL J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. sipil*, pp. 15–18, 2020.
- [2] S. A. R. S. Hasibuan, "Solusi Analisis Stuktur Plane Truss Dengan Opensees," *Semin. Nas. Kahuripan*, pp. 290–294, 2020.
- [3] Christiani Chandra Manubulu, Merzy Mooy, and Igidro Sampaio Soares Serra, "Analisa Rangka Batang 2D Menggunakan Metode Matriks Kekakuan Struktur Dan Sap 2000," *Eternitas J. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 2, pp. 11–19, 2022, doi: 10.30822/eternitas.v1i2.1592.
- [4] D. Desharyanto, A. I. N. Diana, and S. Fansuri, "Perbandingan Struktur Rangka Batang Statis Tertentu menggunakan Metode Mekanika Klasik dan Program (SAP2000)," *J. "MITSU" Media Inf. Tek. Sipil*, vol. 9, no. 1, pp. 1–8, 2021.
- [5] D. Sitorus and T. Sitorus, "Relevansi Metode Ritter dan Metode Elemen Hingga dengan Program Matlab pada Rangka Batng," no. 1, 2022.
- [6] S. Ereiz, I. Duvnjak, and J. Fernando Jiménez-Alonso, "Review of finite element model updating methods for structural applications," *Structures*, vol. 41, no. April, pp. 684–723, 2022, doi: 10.1016/j.istruc.2022.05.041.
- [7] J. Suprianto, D. Y. Sari, Y. Fernanda, J. T. Mesin, and F. Teknik, "Proses Rancang Bangun Truss Apparatus (Alat Pratikum Rangka Batang)," vol. 9, no. 3, 2022.
- [8] J. k. Makunza, "Program for the Analysis of Plane Trusses," *Tanzania J. Eng. Technol.*, vol. 30, no. 1, pp. 1–16, 2007, doi: 10.52339/tjet.v30i1.392.
- [9] S. Barus and S. Martinus, "Aplikasi Metode Elemen Hingga pada Rangka Ruang (Space Truss) dengan Membandingkan Cara Perhitungan Manual dengan Metode SAP2000," pp. 177–182, 2021.
- [10] S. O. Dapas, "Aplikasi Metode Elemen Hingga pada Analisis Struktur Rangka Batang," *J. Ilm. Media Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 156–160, 2011.
- [11] S. Radfar, A. Golshani, M. Afrazi, A. Fakhournezhad, and A. A. Golshani, "Finite Element Analysis of a 2D Truss Using MATLAB and OpenSees Finite Element Analysis of a 2D Truss Using MATLAB and OpenSees (headline in 1 or 2 lines, font Arial 18pt in bold),"no. May, 2017, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/341495069>
- [12] A. Akin Adamu, "Stiffness Matrix Method of 2D Truss Systems Using MATLAB," no. March, 2022, doi: 10.52460/issc.2022.012.
- [13] R. Sabah, N. K. Özturun, and B. Sayin, "Development of YAY2020, an FEA program with full-size stiffness matrix for static analysis of high-rise buildings: A comparison with SAP2000," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 17, no. October, 2022, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01576.
- [14] P. B. Kosasih, "Learning fi nite element methods by," *Int. J. Mech. Eng. Educ.*, vol. 38/2, 2021.
- [15] W. Zuo, J. Bai, and F. Cheng, "EFESTS: Educational finite element software for truss

structure. Part I: Preprocess," *Int. J. Mech. Eng. Educ.*, vol. 42, no. 4, pp. 298–306, 2020, doi: 10.1177/0306419015574637.

- [16] E. Candyawan, R. Frans, H. T. Kalangi, and I. Artikel, "PERANCANGAN PROGRAM ANALISIS STRUKTUR PORTAL BIDANG BERBASIS ANTARMUKA PENGGUNA GRAFIS digunakan . Maka itu dipilih aplikasi MATLAB (Matrix Laboratory) untuk membuat program , dengan menggunakan tampilan GUI (Graphic User Interface) atau APG (Antarmu," vol. 7, no. 2, pp. 164–175, 2022.