

STUDI GAYA DALAM PADA KONSTRUKSI BALOK SEDERHANA DENGAN PEMODELAN BEBAN

Efa Suriani^{1,*} Parmo²

^{1,2}Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya, Jl. Dr. Ir. H. Soekarno No.682, Gn. Anyar, Kec. Gn. Anyar, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia 60294

*E-mail : efasuriani@uinsa.ac.id

Diterima: 23-09-2023

Direview : 20-11-2023

Direvisi: 18-05-2023

Disetujui: 21-05-2023

ABSTRAK. Pengetahuan dasar dari pembelajaran struktur salah satunya adalah mengenal tentang konstruksi balok sederhana. Balok adalah *member* dari struktur yang menerima gaya arah *transversal*. Pemahaman terkait balok sederhana merupakan pembelajaran struktur yang penting namun, dianggap sulit dan sering terabaikan. Mempelajari dan memahami struktur memang memerlukan ekstra kerja keras dikarenakan kombinasi dari teknis dan kreatifitas. Oleh karena itu, penelitian ini membahas perilaku konstruksi balok sederhana (KBS) dengan pemodelan beban dan penggambaran diagramnya. Tujuan dari penelitian ini sebagai referensi dari perilaku struktur konstruksi balok sederhana dengan beberapa pembebanan. Perilaku struktur ditunjukkan dengan gaya-gaya reaksi dan gaya-gaya dalam akibat muatan yang bekerja beserta penggambaran diagramnya. Metode penelitian menggunakan deskriptif kuantitatif. Analisis digunakan perhitungan manual dan divalidasi dengan metode elemen hingga aplikasi *ETABS*. Hasil perhitungan dari reaksi perletakan dengan enam pemodelan beban baik secara manual dan metode elemen hingga signifikan sama. Penggambaran diagram gaya geser pada konstruksi balok sederhana dengan beban terpusat merupakan garis lurus mendatar. KBS yang dikenai beban merata persegi panjang diagram gaya geser merupakan garis lurus miring dan beban merata segitiga merupakan garis lengkung. Penggambaran diagram momen akibat beban terpusat merupakan garis lurus miring. Sedangkan, KBS yang dikenai beban merata persegi panjang, segitiga simetri atau sehadap merupakan garis lengkung. Perbedaan dari perilaku struktur dikarenakan perbedaan beban yang diberikan pada KBS. Hal ini memperlihatkan beban terpusat dan beban merata memberikan pengaruh yang berbeda pada KBS.

Kata kunci: Gaya Dalam, Balok Sederhana, Diagram, *ETABS*

ABSTRACT. *The basic knowledge of structure learning is one of them is to know about simple beam construction. Beam is a member of the structure that accepts transverse directional force. Simple beam-related understanding is an important structure learning but, it is considered difficult and often overlooked. Learning and understanding structure requires extra hard work because of the combination of technical and creative. Therefore, this study addresses the behavior of simple beam construction (KBS) with load modeling and depiction of its diagram. The purpose of this study is as a reference to the behavior of simple beam construction structure with some loading. Structure behavior is shown by reaction styles and inner styles due to the charge that works along with the depiction of the diagram. Research method uses quantitative descriptive. Analysis is used manual calculation and validated by element method up to ETABS applications. The calculation of the laying reaction with six load modeling both manually and element method to significant equal. The depiction of sliding force diagrams on simple beam construction with centralized load is a straight flat line. KBS which is subjected to a rectangular load of sliding force diagram is a straight sloping line and the evenly triangular load is a curved line. The depiction of the moment diagram due to central load is a straight sloping line. Meanwhile, KBS is subjected to a rectangular load, symmetry triangle or face-to-face is a curved line. Difference from structure behavior due to the difference in load given to KBS. This shows centralized loads and evenly loads exerting different influences on KBS.*

Keywords: Inner Style, Simple Beam, Diagram, *ETABS*

PENDAHULUAN

Perilaku struktur pada konstruksi balok sederhana merupakan pengetahuan awal dalam pemahaman dasar perilaku struktur. Perilaku struktur yang dimaksud adalah berupa

deformasi dan gaya-gaya dalam yang diakibatkan akibat muatan atau beban yang bekerja. Pemahaman terkait perilaku struktur sebelumnya harus memahami terkait konsep dasar dari pengertian gaya, beban pada struktur, cara kerja beban,

keseimbangan pada konstruksi balok sederhana serta penggambaran diagram untuk gaya dalam geser, normal dan momen secara mandiri dan mampu menyelesaikan perhitungan konstruksi statis tertentu dengan metode manual. Wawasan terkait struktur merupakan elemen dasar yang sangat penting dalam mempelajari konstruksi bangunan akan tetapi, hal ini sering terabaikan khususnya pada sekolah Arsitektur.

Menurut (Causevic Amir, 2021), peserta didik terutama mahasiswa Arsitektur harus dibekali pengetahuan tentang ilmu statika, yaitu ilmu tentang pengaruh dan distribusi gaya pada benda yang tetap dalam keseimbangan. Salah satunya perhitungan statika pada konstruksi balok sederhana. Perhitungan struktur pada penelitian lain menggunakan aplikasi komputer yaitu aplikasi SAP. Pada penelitian ini menggunakan aplikasi Etabs selain memiliki fitur yang lebih baik 3D (tiga dimensi) termasuk dapat menganalisis non linier. Oleh sebab itu, perlu diteliti bagaimana gaya dalam pada konstruksi balok sederhana dengan berbagai pemodelan dengan perhitungan manual divalidasi dengan aplikasi Etabs. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber bacaan pada peserta didik.

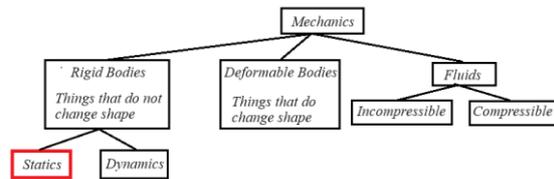
Pengertian Dasar Mekanika Teknik

Mekanika teknik atau statika adalah ilmu yang mempelajari seluruh benda yang tetap atau statis. Ilmu statika adalah bagian dari ilmu mekanika teknik. Sedangkan, ilmu dinamik adalah ilmu yang mempelajari benda yang tidak bergerak (atau yang tidak akan bergerak). Ketentuan didalam ilmu statika terdapat persyaratan khusus yaitu pergerakan dengan simbol $V=0$. Hal ini bahwa, dalam ilmu statika hanya bekerja dengan gaya-gaya yang tidak bekerja atau dengan pergerakan sama dengan nol. Prinsip ini dapat terjadi jika semua gaya yang membebani pada suatu benda dan gaya-gaya yang bekerja pada konstruksi saling meniadakan, sehingga seluruh gaya seimbang. Oleh sebab itu, ilmu statika adalah ilmu keseimbangan. Ilmu statika merupakan cabang dari ilmu Fisika yang membahas tentang keadaan diam atau geraknya benda-benda yang mengalami kerja atau aksi sebuah gaya (Frick, 1979).

Konstruksi Balok Sederhana (KBS)

Konstruksi balok sederhana adalah sebuah konstruksi yang ditumpu pada dua titik tumpu pada perletakan berupa sendi dan rol. Penyusun komponen konstruksi balok sederhana berupa tumpuan atau perletakan dan beban. Jenis konstruksi ini termasuk dalam

konstruksi statis tertentu. Konstruksi statis tertentu dapat diselesaikan dengan persamaan keseimbangan.



Gambar 1. Bagan cabang ilmu Mekanika Teknik
(Sumber: Analsis, 2023i)

Konstruksi Balok Sederhana (KBS)

Konstruksi balok sederhana adalah sebuah konstruksi yang ditumpu pada dua titik tumpu pada perletakan berupa sendi dan rol. Penyusun komponen konstruksi balok sederhana berupa tumpuan atau perletakan dan beban. Jenis konstruksi ini termasuk dalam konstruksi statis tertentu. Konstruksi statis tertentu dapat diselesaikan dengan persamaan keseimbangan. Penelitian ini membahas konstruksi balok sederhana dengan 6 (enam) perbedaan model pembebanan yang dikenai pada konstruksi balok. Pemodelan beban tersebut sebagai berikut:

1. Konstruksi balok sederhana (KBS) dengan sebuah beban terpusat (tegak lurus),
2. Konstruksi balok sederhana (KBS) dengan sebuah beban terpusat (miring),
3. Konstruksi balok sederhana (KBS) dengan sebuah beban merata (persegi panjang),
4. Konstruksi balok sederhana (KBS) dengan sebuah beban merata (segitiga simetri),
5. Konstruksi balok sederhana (KBS) dengan sebuah beban merata (segitiga sehadap),
6. Konstruksi balok sederhana (KBS) dengan sebuah beban kombinasi (beban merata persegi panjang dan segitiga sehadap).

Jenis Konstruksi

Terdapat dua jenis konstruksi yang digunakan dalam mempelajari ilmu mekanika teknik yaitu, konstruksi statis tertentu dan tak tentu. Ciri-ciri konstruksi statis tertentu adalah besarnya reaksi dan momen dapat ditentukan dengan persamaan keseimbangan. Sedangkan, jenis konstruksi statis tak tentu besarnya reaksi dan momen tidak dapat diselesaikan dengan persamaan keseimbangan.

Terdapat formula dalam menentukan apakah termasuk jenis statis tertentu atau tak tentu. Berikut persamaan yang dapat digunakan.

$$\text{Persamaan: } R = B + 2 \quad (1)$$

Dimana,

R = Jumlah reaksi yang akan ditentukan,

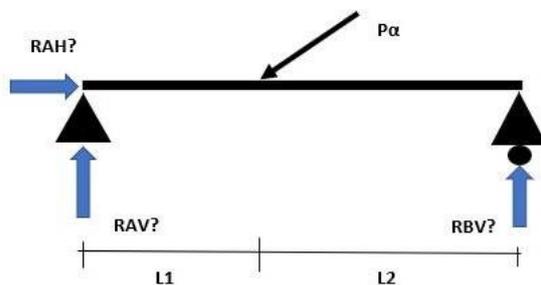
B = Jumlah batang

Jika $R > B + 2$ maka, jenis konstruksi adalah konstruksi tak tentu.

Konstruksi Tertentu

Pengertian konstruksi tertentu dan tak tentu harus dapat dipahami terlebih dahulu sehingga jika belum maka dikhawatirkan pada proses selanjutnya akan mengalami kendala dalam melakukan analisis statika pada sebuah konstruksi.

Sebuah konstruksi balok sederhana dengan tumpuan sendi dan rol seperti dibawah ini maka, dapat ditentukan jenis konstruksinya.



Gambar 2. Konstruksi sederhana tumpuan sendi-rol
(Sumber: Analisis, 2023)

Pada konstruksi dengan tumpuan sederhana yaitu, tumpuan sendi dan rol maka, terdapat tiga buah gaya yang harus ditentukan. Penyelesaiannya sebagai berikut. Gambar ini juga dapat disebut diagram benda bebas.

Diketahui bahwa jumlah batang adalah satu. Berdasarkan persamaan 1, sehingga, $R = B + 2 = 1 + 2 = 3$, $R = 3$, hasilnya adalah sama.

Kesimpulannya bahwa konstruksi dengan tumpuan sederhana (sendi dan rol) pada gambar 1, diatas adalah dikategorikan jenis konstruksi statis tertentu yang dibahas pada penelitian ini.

Menurut (Irawan, 2010), kegiatan belajar mengajar yang berbasis kompetensi sebaiknya didukung dengan alat-alat peraga yang sesuai dengan topik pembahasan agar dapat dipahami fenomena tersebut sesuai dengan teori yang diberikan di kelas. Pengamatan kondisi dilapangan sangat penting yang terjadi pada sebuah konstruksi akibat beban atau gaya yang diterima. Hasil analisis dari pemodelan dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam menganalisis kekuatan dan desain konstruksi selanjutnya. Hasil dari pengembangan alat uji berupa modul praktikum defleksi balok dan data pengujian disajikan dalam grafik. Penelitian ini mendukung pentingnya mempelajari konstruksi

balok sederhana untuk memperkuat dalam mempelajari mekanika teknik, sedangkan perbedaannya konstruksi balok sederhana diuji eksperimen di laboratorium.

Menurut (Rohmana et al., 2015), mata pelajaran mekanika teknik harus benar-benar mampu dipahami dan dikuasai oleh peserta didik mengingat mata kuliah ini merupakan dasar dalam ilmu konstruksi bangunan. Selain itu, berdasarkan (Mahato & Ratnakar, 2018), konstruksi balok sederhana merupakan struktur utama yang banyak digunakan pada ilmu bangunan maupun pada bidang mekanik lainnya. Tata cara analisis pada konstruksi balok sederhana setelah dikenai beban merupakan suatu hal yang penting untuk dipelajari. Jika balok didukung perletakan pada kedua ujungnya dan diberikan beban pada balok. Selanjutnya, dilakukan analisis secara matematis serta divalidasi pada perangkat lunak. Hasil menunjukkan terdapat sedikit perbedaan. Saran yang diberikan adalah meningkatkan kualitas mesh atau area lebih didetailkan. Penelitian ini mendukung pentingnya dalam mempelajari konstruksi balok sederhana dikenai pembebanan dan termasuk upaya dalam meningkatkan pembelajaran pada mekanika teknik. Perbedaannya adalah metode analisis yang digunakan.

Menurut (Maldonado & Molina, 2007), siswa peserta pembelajaran mekanik teknik juga mengalami kesulitan dalam melibatkan momen lentur pada balok sehingga, perlu menjadi perhatian terkait permasalahan ini.

Berdasarkan (Varundeeep et al., 2016), konstruksi balok kantilever sederhana adalah elemen struktur kaku yang memiliki penyangga ditumpu satu ujungnya dan tumpuan rol yang lain. Konstruksi tersebut dikenai pembebanan akan mengalami geser dan tekuk. Terdapat beberapa jenis konstruksi balok sederhana antara lain balok kantilever, balok penyangga sederhana dan didalamnya terdapat jenis penampang (persegi panjang, lingkaran dan lain-lain). Analisis yang digunakan menggunakan aplikasi *ansys*. Berdasarkan kajian riset terdahulu bahwa, mata kuliah mekanika teknik merupakan mata kuliah yang penting. Hal ini dikarenakan mata kuliah ini merupakan pengetahuan dasar dalam perhitungan konstruksi maupun sebagai dasar dalam mempelajari ilmu konstruksi bangunan. Selain itu, poin penting dalam pembelajaran desain struktur bahwa setiap model pembebanan akan dapat direspon oleh konstruksi secara efektif dari gaya-gaya yang bekerja.

Pengetahuan tentang ilmu statika, yaitu ilmu tentang pengaruh dan distribusi gaya pada benda yang tetap dalam keseimbangan, merupakan dasar yang cukup untuk mengidentifikasi bentuk-bentuk ideal.

Perilaku yang ditunjukkan pada konstruksi balok yang dikenai pembebanan merupakan hal yang penting untuk diketahui. Menurut (Biagi, 2023), memahami perilaku konstruksi balok juga diadopsi secara menyeluruh di berbagai bidang teknik sipil, mekanik dan kelautan. Perilaku tersebut diperlihatkan dalam bentuk gaya internal atau gaya dalam yang bekerja pada elemen balok.

Menurut (Jasienski et al., 2016), penting untuk mempelajari diagram bentuk dan gaya dalam statika dari hasil evaluasi redistribusi gaya dalam diagram gaya. Terdapat banyak metode yang dapat digunakan dalam menganalisis konstruksi balok sederhana baik secara manual atau menggunakan metode elemen hingga. Penelitian ini diharapkan dapat menambah sumber referensi bagi peserta didik.

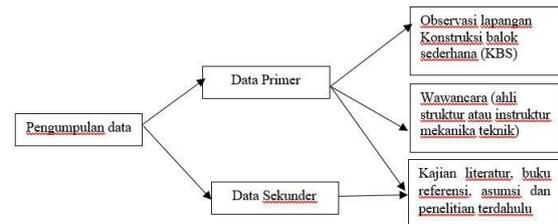
METODE PENELITIAN

Penelitian studi konstruksi balok sederhana dengan pemodelan beban dilakukan dengan metode penelitian deskriptif kuantitatif. Data yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi data primer dan sekunder. Tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar 3. Data sekunder berupa hasil kajian literatur, maupun buku referensi terdahulu. Pengumpulan data primer dengan melakukan observasi atau survei dilapangan termasuk diskusi dengan ahli struktur yang relevan dan berkaitan dengan penelitian.

Observasi untuk konstruksi balok sederhana dilakukan berkelompok oleh peserta didik semester gasal. Lokasi survei dilakukan di sekitar wilayah Jawa Timur dan Jawa Tengah. Observasi ini dilakukan untuk melihat secara langsung fenomena dilapangan sebagai bahan penelitian fisik. Selanjutnya, fenomena tersebut dianalogikan dengan pendekatan mekanika rekayasa yaitu, sebagai bentukan jenis konstruksi balok sederhana. Analisa konstruksi balok sederhana (KBS) yang dikenai beban dengan 6 pemodelan dengan perhitungan metode analitis atau manual kemudian dibandingkan atau divalidasi dengan metode elemen hingga menggunakan aplikasi perhitungan struktur yaitu, program ETABS.

Observasi lapangan

Konstruksi balok sederhana diapit oleh tumpuan sendi dan rol. Konsep perletakan atau tumpuan juga perlu dipahami dengan baik. Perletakan tersebut merupakan karakter penentuan jenis konstruksi statis tertentu atau tak tentu. Observasi lapangan perlu dilakukan sebagai fenomena dilapangan selanjutnya sebagai analogi pada proses analisis.



Gambar 3. Tahapan Penelitian
(Sumber: Penulis, 2023)

Pengertian Tumpuan Sendi

Merupakan tumpuan yang mampu menerima beban atau gaya dari seluruh arah (vertikal dan horizontal) akan tetapi, tidak mampu menahan momen.



Gambar 4. Contoh tumpuan sendi
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Pengertian Tumpuan Rol

Merupakan tumpuan yang hanya mampu menahan beban atau gaya bekerja tegak lurus (vertikal) akan tetapi, tidak mampu menahan momen.

Pengertian Beban Terpusat

Beban atau dianalogikan dengan gaya yang bekerja pada sebuah konstruksi bangunan juga merupakan elemen penting dalam memahami analisis pada struktur. Beban yang berpindah diasumsikan sebagai beban hidup (*live load*), sedangkan beban tidak berpindah tempat dapat disebut beban mati (*dead load*). Jenis beban mati dapat berupa beban terpusat atau terbagi merata. Beban terpusat merupakan beban yang terkonsentrasi pada suatu titik pada elemen struktur.



Gambar 5. Contoh tumpuan rol
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar 6. Contoh beban terpusat
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Pengertian Beban Terbagi merata

Jenis beban mati yang lain adalah beban terbagi merata. Beban terbagi merata merupakan beban yang bekerja merata dari arah memanjang atau dalam arah luas. Aplikasi beban merata persegi panjang adalah beban dinding atau beban balok. Sedangkan, beban merata segitiga adalah beban pelat lantai (asumsi pada pembebanan).



Gambar 7. Contoh beban terbagi merata
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Aplikasi Perhitungan Struktur

Menurut (Biagi, 2023), penyelesaian numerik yang diperoleh dari metode elemen hingga (*Finite Element Method*) dapat mencapai efek struktural cukup baik. Selain itu menurut (Ting

et al., 2021), untuk membuat diagram momem secara konvensional, tidak hanya rumit untuk dihitung, akan tetapi juga mudah dalam membuat kesalahan. Aplikasi struktur yang digunakan pada penelitian ini adalah *software* ETABS Nonlinier versi 9.5.0. Singkatan dari ETABS adalah *Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems*, aplikasi ini banyak digunakan dalam melakukan analisis dan desain pada struktur bangunan.

Persamaan Keseimbangan

Menurut (Gray et al., 2005), pendekatan pemecahan permasalahan pada pembelajaran statika salah satunya adalah dengan hukum kesetimbangan. Berdasarkan (Kraige, 2006), statika berurusan dengan deskripsi terkait kondisi gaya yang diperlukan dan bagaimana dapat mempertahankan keseimbangan pada struktur. Oleh sebab itu, kesetimbangan merupakan bagian yang terpenting pada pembelajaran statika.

Pada saat sebuah konstruksi dalam kesetimbangan, maka resultan atau jumlah dari semua beban atau gaya yang bekerja adalah sama dengan nol. Sehingga, resultan gaya (R) dan resultan Momen (M) adalah keduanya nol.

Persamaan:

$$\begin{aligned} R &= \sum F = 0 \\ R &= \sum M = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Dimana,

R = reaksi, M = momen

Pengertian Gaya Dalam

Gaya dalam adalah gaya-gaya yang bekerja di dalam struktur atau merupakan yang dipikul suatu konstruksi yang mana akan disalurkan pada setiap elemen konstruksi. Gaya dalam ini akan menimbulkan perubahan bentuk biasanya disebut dengan deformasi pada bagian konstruksi. Deformasi ini akan dilawan oleh tegangan-tegangan didalamnya sehingga kesimbangan (*equilibrium*) akan tercapai. Berikut yang termasuk gaya-gaya dalam:

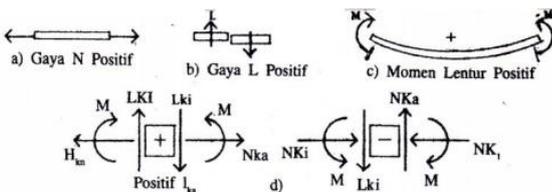
1. Gaya Normal (N), merupakan gaya yang bekerja sejajar dengan sumbu batang. Gaya normal dapat berupa dorongan atau tarikan.
2. Gaya Lintang (L), atau dikenal sebagai gaya geser, merupakan gaya yang bekerja tegak lurus dengan sumbu memanjang batang. Gaya lintang juga dikenal dengan gaya geser.
3. Gaya Momen (M), merupakan gaya yang akan membengkokkan batang. Akibat

gaya luar (P), pada balok akan melentur. Sehingga, gaya dalam akan melawan momen lentur ini sehingga tercapai keseimbangan.

Dalam proses perhitungan gaya-daya dalam untuk memudahkan analisis maka, dilakukan perjanjian tanda dan penerapannya harus konsisten.

Gaya normal diasumsikan tanda positif jika gaya cenderung menimbulkan sifat tarik pada batang dan sebaliknya tanda negatif jika gaya tersebut cenderung menimbulkan sifat desak. Gaya geser diasumsikan tanda positif jika gaya tersebut menimbulkan patah dengan searah putaran arah jarum jam, dan negatif jika sebaliknya.

Momen lentur diasumsikan tanda positif, jika gaya tersebut menyebabkan sumbu batang cekung ke atas dan diberi tanda negatif jika menyebabkan sumbu batang cekung ke bawah.



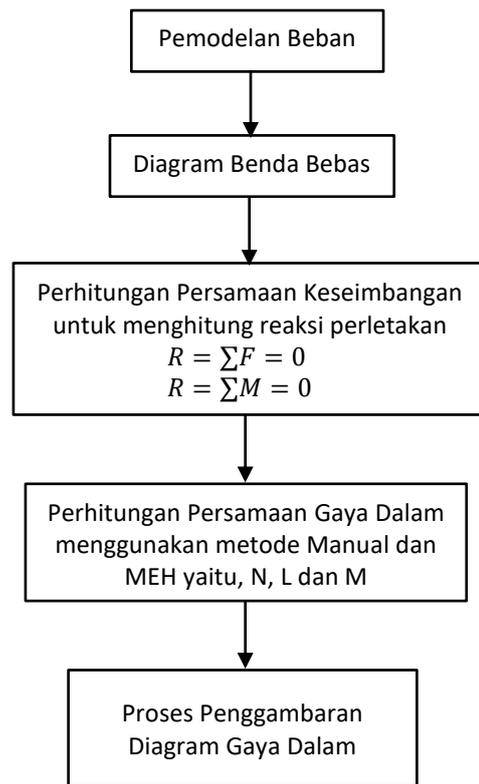
Gambar 8. Perjanjian tanda

Pengertian Momen

Benda dapat berpindah tempat atau dikatakan bergerak dikarenakan adanya gaya. Istilah lain disebut translasi. Gaya tersebut dapat juga menyebabkan rotasi yang bergerak bebas terhadap sumbu tegak lurus. Istilah lain disebut momen.

Proses Perhitungan Gaya Dalam

Proses perhitungan dengan memahami beberapa istilah yang dipaparkan sebelumnya seperti tumpuan yang terdiri dari sendi dan rol, beban yang bekerja mengenai konstruksi berupa beban terpusat dan merata, perhitungan persamaan keseimbangan yang memenuhi semua gaya vertikal, horizontal maupun momen sama dengan nol. Tahapan selanjutnya, setelah diperoleh reaksi perletakan akan dilakukan proses perhitungan diagram geser, normal dan momen. Tahapan tersebut dapat dibuat diagram sebagai berikut.



Gambar 9. Tahapan Perhitungan Gaya Dalam
(Sumber: Analisis, 2023)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembelajaran struktur adalah sesuatu tindakan yang memerlukan ekstra kerja keras (memeras otak) dikarenakan merupakan pengetahuan kombinasi antara teknis dan kreatifitas. Banyak hal yang harus diajarkan kepada peserta didik dan dimulai dengan pemahaman statika atau mekanika teknik, kekuatan bahan sampai pada pemahaman kekuatan dan kelemahan sistem struktur yang akan didesain (Becker, 2013).

Sebelum membuat karya disain arsitektur atau mendisain bangunan maka sebaiknya perlu memahami elemen dasar penyusun struktur bangunan termasuk perilaku struktur tersebut. Umumnya menganalisis struktur dibedakan dalam analisis struktur balok, portal dan rangka batang. Struktur yang paling sederhana dan sering dijumpai di lapangan adalah berupa sebuah balok sederhana. Hal ini dikarenakan konstruksi bangunan aplikatifnya terdiri dari bagian-bagian yang berupa balok. Dengan mempelajari maupun studi mengetahui sifat-sifat struktur balok maka, diharapkan dapat memahami lebih lanjut bentuk-bentuk dari struktur portal maupun konstruksi rangka batang. Oleh sebab itu, batasan masalah dalam penelitian ini yaitu, pada konstruksi balok

seederhana (KBS) yang termasuk dari jenis konstruksi statis tertentu. Model pembebanan yang digunakan adalah 6 (enam) jenis model pembebanan. Analisis yang dilakukan menghitung reaksi perletakan dan penggambaran dari diagram gaya geser (SFD), diagram momen (BMD) dan diagram gaya normal (NFD).

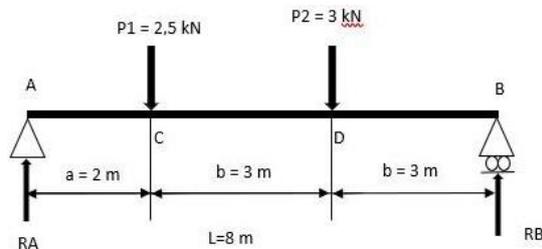
Pemodelan Konstruksi Balok Sederhana (KBS).

Hasil perhitungan statika tertentu dari konstruksi balok sederhana (KBS) dan penggambaran bidang geser, momen dan normal merupakan hasil perhitungan dari perhitungan manual dan dibandingkan atau divalidasi dengan perhitungan metode elemen hingga (aplikasi ETABS). Berikut konstruksi balok sederhana pada penelitian ini, yaitu:

Pemodelan beban 1, KBS dengan Beban terpusat (Tegak Lurus).

Data yang diketahui sebagai berikut:
Beban terpusat (tegak lurus):
 $P_1=2,5 \text{ kN}$, $P_2= 3 \text{ kN}$
Panjang bentang, $L= 8 \text{ m}$.
Jarak antar beban, $a= 2 \text{ m}$, $b= 3 \text{ m}$.

Penyelesaian:
Hitung Reaksi Perletakan, gambar SFD, BMD dan NFD.

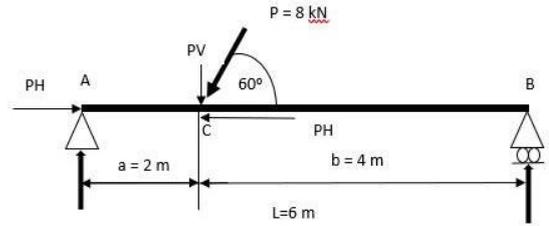


Gambar 10. Konstruksi Balok Sederhana (KBS) pemodelan beban 1 (Sumber: Analisis, 2023)

Pemodelan beban 2, KBS dengan Beban terpusat (miring atau membentuk sudut).

Data yang diketahui sebagai berikut:
Beban terpusat (miring):
 $P=8 \text{ kN}$, Sudut= 60 derajat
Panjang bentang, $L= 6 \text{ m}$.
Jarak antar beban, $a= 2 \text{ m}$, $b= 4 \text{ m}$.

Penyelesaian:
Hitung Reaksi Perletakan, gambar SFD, BMD dan NFD.

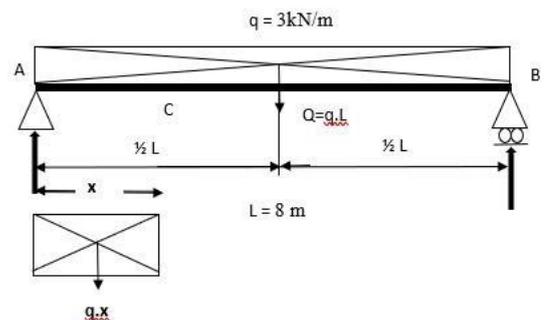


Gambar 11. Konstruksi Balok Sederhana (KBS) pemodelan beban 2 (Sumber: Analisis, 2023)

Pemodelan beban 3, KBS dengan Beban merata (Persegi panjang).

Data yang diketahui sebagai berikut:
Beban merata (persegi panjang):
 $q=3 \text{ kN/m}$
Panjang bentang, $L= 8 \text{ m}$.

Penyelesaian:
Hitung Reaksi Perletakan, gambar SFD, BMD dan NFD.



Gambar 12. Konstruksi Balok Sederhana (KBS) pemodelan beban 3 (Sumber: Analisis, 2023)

Pemodelan beban 4, KBS dengan Beban merata (Segitiga simetri).

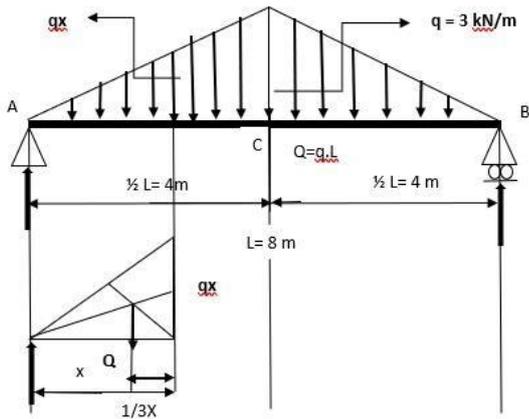
Data yang diketahui sebagai berikut:
Beban merata (segitiga simetri):
 $q=3 \text{ kN/m}$
Panjang bentang, $L= 8 \text{ m}$.

Penyelesaian:
Hitung Reaksi Perletakan, gambar SFD, BMD dan NFD.

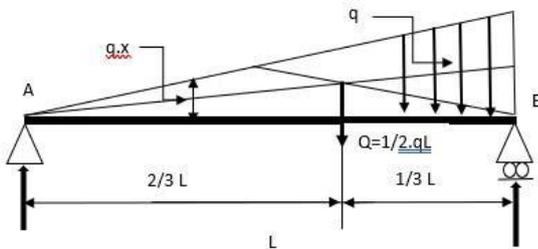
Pemodelan beban 5, KBS dengan Beban merata (Segitiga sehadap).

Data yang diketahui sebagai berikut:
Beban merata (segitiga sehadap):
 $Q = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l \text{ kN}$
Panjang bentang, $L= L \text{ m}$.

Penyelesaian:
Hitung Reaksi Perletakan, gambar SFD, BMD dan NFD.



Gambar 13. Konstruksi Balok Sederhana (KBS) pemodelan beban 4 (Sumber: Analisis, 2023)



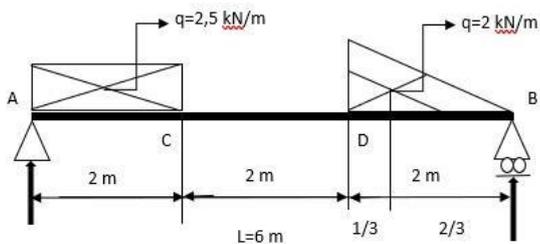
Gambar 14. Konstruksi Balok Sederhana (KBS) pemodelan beban 5 (Sumber: Analisis, 2023)

Pemodelan beban 6, KBS dengan Beban merata (Persegi panjang dan Segitiga sehadap).

Data yang diketahui sebagai berikut:
Beban merata (persegi panjang dan segitiga sehadap):
 $q_1=2,5 \text{ kN/m}$, $q_2=2 \text{ kN/m}$

Panjang bentang, $L= 6 \text{ m}$.
Jarak antar beban, $a= 2 \text{ m}$, $b= 2 \text{ m}$, $c= 2 \text{ m}$.

Penyelesaian:
Hitung Reaksi Perletakan, gambar SFD, BMD dan NFD.



Gambar 15. Konstruksi Balok Sederhana (KBS) pemodelan beban 6 (Sumber: Analisis, 2023)

Hasil Perhitungan Statika

Berikutnya dilakukan perhitungan statika baik secara manual atau analitis dan divalidasi dengan hasil aplikasi perhitungan struktur dapat ditabelkan sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil perhitungan reaksi perletakan

No.	Data	Reaksi di titik A	Reaksi di titik B
1	Beban Terpusat (tegak lurus) Beban: P1=2,5 kN, P2=3 kN Panjang bentang: L = 8 m	RAv = 3 kN (analitis)	RBv = 2,5 kN (analitis)
		RAv = 3 kN (ETABS)	RBv = 2,5 kN (ETABS)
2	Beban terpusat (miring atau membentuk sudut) Beban: P=8 kN, sudut = 60° Pv=P.sin 60° = 6,96 kN Ph=P.cos 60° = 4 kN Panjang bentang: L = 6 m	RAv = 4,64 kN (analitis)	RBv = 2,32 kN (analitis)
		RAv = 4,64 kN (ETABS)	RBv = 2,32 kN (ETABS)
3	Beban merata (Persegi panjang) Beban: q=3 kN/m, Panjang bentang: L = 8 m	RAv = 12 kN (analitis)	RBv = 12 kN (analitis)
		RAv = 12 kN (ETABS)	RBv = 12 kN (ETABS)
4	Beban merata (Segitiga simetri) Beban: q=3 kN/m, Panjang bentang: L = 8 m	RAv = 6 kN (analitis)	RBv = 6 kN (analitis)
		RAv = 6 kN (ETABS)	RBv = 6 kN (ETABS)
5	Beban merata (Segitiga sehadap)	$RAv = \frac{q}{3} = \frac{1}{3} \cdot \frac{q \cdot L}{3}$ $= \frac{q \cdot L}{6} = \frac{3 \cdot 8}{6}$ $= 4 \text{ kN}$ (analitis)	$RBv = \frac{q \cdot L}{3} = \frac{3 \cdot 8}{3}$ $= 8 \text{ kN}$ (analitis)

q=3 kN/m,			
Panjang bentang:	RAv = 4 kN (ETABS)	RBv = 8 kN (ETABS)	
L = 8 m			
6 Beban kombinasi (merata persegi panjang dan segitiga sehadap)	RAv = 4,6111 kN (analitis)	RBv = 2,3889 kN (analitis)	
	RAv = 4,61 kN (ETABS)	RBv = 2,39 kN (ETABS)	
Beban: q1=2,5 kN/m, q2=2 kN/m	Selisih 0,0011	Selisih 0,0011	
Panjang bentang: L = 6 m			

Sumber: Analisis, 2023

Perhitungan diagram gaya geser, momen dan gaya normal.

Hasil perhitungan dalam menentukan besaran diagram gaya geser, dan momen diambil sebagai perwakilan untuk pemodelan konstruksi balok sederhana (KBS) dikenai beban kombinasi (merata persegi panjang dan segitiga sehadap). Berikut dapat dilihat pada tabel 2 dan 3. Sedangkan, hasil perhitungan dalam menentukan besaran diagram gaya normal diambil sebagai perwakilan untuk pemodelan KBS dikenai beban terpusat (miring atau membentuk sudut) pada tabel 4 dibawah ini.

Hasil dari semua penggambaran diagram gaya geser, bidang momen dan gaya normal (SFD, BMD dan NFD) dari ke-enam model pembebanan dapat dilihat pada tabel 5. Hasil penggambaran tersebut diambil dari hasil analisa menggunakan metode elemen hingga yaitu, aplikasi perhitungan struktur ETABS.

Tabel 2. Hasil perhitungan besaran diagram gaya geser, Shear Force Diagram (SFD).

Analtis (manual)	Aplikasi ETABS
Shear Force Diagram (SFD)	Shear Force Diagram (SFD)
DA = RAv = 4,6111 kN (+)	DA = 4,61 kN (+)
DC = RAv - Q1 = 4,6111 - 5 = 0,3889 kN (+)	DC = 0,39 kN (+)
	DB (kiri) = - 2,39 kN (-)

$$DB \text{ (kiri)} = DC - Q2 = 0,3889 - 2 = -2,3889 \text{ kN (-)}$$

$$DB \text{ (kanan)} = RBv = 2,3889 \text{ kN (cek ok!)}$$



Sumber: Analisis, 2023

Tabel 3. Hasil perhitungan besaran diagram gaya momen, Bending Momen Diagram (BMD).

Analtis (manual)	Aplikasi ETABS
Bending Momen Diagram (BMD)	Bending Momen Diagram (BMD)
MA = MB = 0	MA = MB = 0
MC = RAv.2 - Q1.1/2.2 = 4,2222 kNm (+)	MC = 4,22 kNm (+)
MD = RAv.4 - Q1.3 = 3,4444 kNm (-)	MD = 3,44 kNm (-)



Sumber: Analisis, 2023

KESIMPULAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membantu memahami perilaku konstruksi balok sederhana yang dikenai pembebanan dengan diperlihatkan gaya reaksi dan gaya-gaya dalam beserta diagram. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya balok merupakan member dari struktur bangunan yang menerima gaya arah transversal. Balok tersebut merupakan komponen dari kumpulan elemen struktur pembangunan yang nantinya menjadi sebuah karya arsitektur.

Hasil perhitungan statika reaksi perletakan pada konstruksi balok sederhana dengan pemodelan beban baik secara analitis atau manual dan dengan metode elemen hingga atau aplikasi ETABS signifikan sama. Hal ini terlihat dari hasil diperoleh selisih senilai 0,0011 pada konstruksi balok sederhana beban kombinasi merata dan segitiga sehadap.

Hasil dari mengidentifikasi bentuk diagram gaya geser atau *shear force diagram* (SFD) pada konstruksi balok sederhana dengan pemodelan beban yaitu, konstruksi balok

seederhana yang dikenai beban terpusat baik tegak lurus atau membentuk sudut maka penggambaran SFD merupakan garis lurus mendatar. Sedangkan, KBS yang dikenai beban merata persegi panjang merupakan garis lurus miring. Untuk beban merata segitiga simetri atau sehadap merupakan garis lengkung.

Hasil dari mengidentifikasi bentuk diagram momen atau *bending moment diagram* (BMD) pada konstruksi balok sederhana dengan pemodelan beban yaitu, konstruksi balok sederhana yang dikenai beban terpusat baik tegak lurus atau membentuk sudut maka penggambaran BMD merupakan garis lurus miring. Sedangkan, KBS yang dikenai beban merata persegi panjang, segitiga simetri atau sehadap merupakan garis lengkung.

Hasil dari mengidentifikasi bentuk diagram gaya normal atau *normal force diagram* (NFD) pada konstruksi balok sederhana dengan pemodelan beban yaitu, konstruksi balok sederhana yang dikenai beban terpusat membentuk sudut maka penggambaran NFD merupakan garis lurus mendatar.

Perbedaan dari perilaku struktur yang diperlihatkan dengan gaya-gaya reaksi dan gaya-gaya dalam dan dipresentasikan pada diagram. Hasil tersebut dikarenakan perbedaan beban yang diberikan pada KBS. Hal ini memperlihatkan beban terpusat dan beban merata memberikan pengaruh yang berbeda pada KBS. Hasil ini memperkuat pentingnya memahami karakteristik pembebanan yang akan bekerja pada struktur bangunan. Hal ini penting diperhatikan pada proses analisis penggambaran diagram gaya dalam.

Saran dan masukan pada penelitian ini adalah dapat dilanjutkan untuk bentuk konstruksi balok yang berbentuk melengkung atau lingkaran dan model pembebanan yang lebih banyak variasi. Kesulitan peneliti adalah memahami dari aplikasi metode elemen hingga atau *software* ETABS, masih perlu banyak berlatih dan beberapa *toolbar* yang belum dipahami baik fungsi maupun model konstruksi apa saja yang dapat dianalisis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Agama Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Islam Negeri Sunan Ampel (UINSA) dan peserta didik Program Studi Arsitektur UINSA yang telah membantu dalam proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Becker, H. H. (2013). *The Structures - Design Studio Link The Structures - Design Studio Link*.
- Biagi, V. De. (2023). *Behavior of a simple beam grillage structure on damaged*. <https://doi.org/10.1007/s00707-023-03491-9>
- Causevic Amir, M. S. (2021). *Teaching structural analysis*. June, 3–4. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5053.8006>
- Frick, H. I. (1979). *Mekanika Teknik 1*.
- Gray, G. L., Costanzo, F., & Plesha, M. E. (2005). *Problem Solving in Statics and Dynamics: A Proposal for a Structured Approach*.
- Irawan, A. P. (2010). *Studi Eksperimental Fenomena Defleksi Pada Konstruksi Balok Sederhana Sebagai Modul Pembelajaran Mekanika Kekuatan Material Agustinus Purna Irawan*. VII (ISBN 978-979-18839-0-0), 1–6.
- Jasienski, J.-P., D'acunto, P., Ohlbrock, P. O., & Fivet, C. (2016). Vector-Based 3D Graphic Statics (Part II): Construction of Force Diagrams. *Proceedings of IASS Annual Symposia*, 2016(15), 1–10.
- Kraige, J. . M. L. . (2006). *Engineering Mechanic Statics*. In *John Wiley & Sons. inc* (Vol. 4, Issue 1).
- Mahato, N., & Ratnakar, R. (2018). *Investigation Of Deflection And Shear Forces Of Simply Supported Beam Using Theoretical*. 13(June), 118–121.
- Maldonado, G. O., & Molina, G. J. (2007). *An Analogy Tool to Visualize Bending-Moment Diagrams*. June 2007.
- Rohmana, J., Efendi, A., & Setiawan, A. H. (2015). *Peningkatan Hasil Belajar Mekanika Teknik melalui Penerapan Pembelajaran Kooperatif tipe Team Assisted Individualization pada Siswa Kelas X TGB B SMK Negeri 2 Sukoharjo Tahun Pelajaran 2014/2015*. 1–11.
- Ting, K., Yingsheng, B., Erlei, B., Huixiang, S., & Tao, G. (2021). Flexible application of static balance principle in beam internal force diagram. *Journal of Physics*:

Conference Series, 2012(1).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2012/1/012011>

Varundeeep, K., Teja, N. S. K., Krishna, K. V., Babu, B. A., Teja, A., & Harsha, J. S. (2016). *Determination of Stress and Deflection of Simply Supported Beam for Various Cross-Sections*. 2(3), 587–590.

