

## **PENGEMBANGAN MODUL *STATIC STRUCTURAL* BERBASIS *EXPERIENTIAL LEARNING* MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT* *METHOD* PADA MATA KULIAH BAHAN TEKNIK**

Muhammad Nabil Ilyasa<sup>1\*</sup>, M. Ihwanudin<sup>2\*</sup>, Sumarli<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup>Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang

\*Corresponding Author: m.ihwanudin.ft@um.ac.id

### **Abstract**

*The problem in the Engineering Materials class is that students still consider the Engineering Materials course to be material that is difficult to understand. With these problems, this research aims to develop the "Static Structural" module with an experiential learning approach in the Engineering Materials course using the finite element method. This type of research is R&D (research and development) which refers to the 4D development model: defining, designing, developing and disseminating. The data analysis technique used is included in descriptive statistics where the calculated data is analyzed. After validation was carried out by experts on material, language and design aspects, qualitative data was collected and then processed into quantitative data which was compiled in a validation recapitulation. The results of this research show that the module is declared feasible as a whole with an average score of 3,212 and 80,321% from the expert validator assessment, while in small group trials it gets an average score of 3,495 and a percentage of 87,368%, resulting in a very interesting category as a teaching medium in Engineering Materials course*

**Key Words:** *Experiential Learning Module, Finite Element, Engineering Materials*

### **Abstrak**

Permasalahan di kelas Bahan Teknik didapatkan bahwa mahasiswa masih menganggap mata kuliah Bahan Teknik merupakan materi yang sulit dipahami. Dengan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan melakukan pengembangan modul "*Static Structural*" dengan pendekatan experiential learning pada mata kuliah Bahan Teknik menggunakan finite element method. Jenis penelitian ini R&D (*research and development*) yang mengacu pada model pengembangan 4D: pendefinisian (*define*), perancangan (*design*), pengembangan (*develop*) dan diseminasi (*disseminate*). Teknik analisis data yang digunakan termasuk dalam statistik deskriptif dimana data yang telah dihitung dilakukan analisa. Pengumpulan data kualitatif dilakukan setelah tahapan validasi ahli dalam aspek materi, bahasa, dan desain. Kemudian data tersebut diolah menjadi data kuantitatif yang tersusun di rekapitulasi validasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa modul dinyatakan layak secara keseluruhan dengan skor rata-rata 3,212 dan 80.321% dari penilaian validator ahli, sedangkan dalam uji coba kelompok kecil mendapatkan nilai skor rata-rata 3.495 dan persentase 87.368% sehingga didapatkan kategori sangat menarik sebagai media pengajaran dalam mata kuliah Bahan Teknik.

**Kata Kunci:** Modul Experiential Learning, Metode Elemen Hingga, Bahan Teknik

## **PENDAHULUAN**

Pembelajaran mata kuliah Bahan Teknik dalam pendidikan teknik masih menjadi tantangan tersendiri. Pembelajaran bahan teknik bersifat abstrak dan sulit untuk dirasakan secara langsung. Permasalahan kekuatan bahan teknik dapat diselesaikan secara numerik karena model matematikanya adalah persamaan diferensial parsial (Satria, 2019). Berdasarkan hasil observasi pada mahasiswa S1 Pendidikan Teknik Otomotif Universitas Negeri Malang di kelas mata kuliah Bahan Teknik, didapatkan informasi bahwa mata kuliah Bahan Teknik merupakan materi yang sulit dipahami dan diperlukan media yang berbasis pengalaman eksperimen terkait mekanika struktur. Salah satu permasalahan yang menyulitkan mahasiswa untuk memahami apa yang mereka pelajari pada mata kuliah Bahan Teknik adalah gagasan pembelajaran yang berpusat pada dosen. Mahasiswa yang telah menerima pengajaran teknik konvensional belum siap menghadapi tantangan yang mengharuskan mereka untuk mengadaptasi apa yang telah mereka pelajari ke bidang *engineering* dalam dunia industri maupun pendidikan .

Untuk membantu minat dan kemampuan mahasiswa dalam menangkap apa yang dipelajarinya pada mata kuliah Bahan Teknik, maka mata kuliah ini diperlukan inovasi dalam pembelajaran yang tepat guna. Perangkat mata kuliah Bahan Teknik tidak mencakup keterampilan praktikum atau sumber belajar yang dapat diterapkan secara langsung. Misalnya, jika mahasiswa bereksperimen dalam suatu materi pelajaran, mereka akan menjadi lebih mandiri. Dengan bantuan simulasi yang menunjukkan kekuatan bahan teknik, siswa akan memahami konsep *learning by doing*. Melalui pembelajaran langsung dan pendekatan yang berpusat pada mahasiswa, strategi ini dapat membantu mahasiswa mengembangkan pemahaman dasar mereka (Anas & Budiman, 2020).

Penerapan metode *experiential learning* diharapkan dapat menghasilkan perubahan yang signifikan dalam pendidikan teknik khususnya dalam lingkup mekanika struktur (Purnomo et al., 2013). Untuk menyesuaikan strategi pembelajaran yang berbeda dengan sistem belajar mengajar berdasarkan pengalaman, penelitian lebih lanjut dapat dilakukan. Namun, dalam bidang pendidikan teknik, simulasi merupakan bagian integral dalam menjelaskan konsep-konsep abstrak baik dalam lingkungan industri maupun ruang kelas. Untuk mereplikasi pembelajaran dan pekerjaan di industri di masa depan, simulasi ini memerlukan perangkat lunak khusus. Oleh karena itu pembelajaran yang menggunakan media simulasi harus mendukung model *experiential learning* ini (Maisarah Azizah, 2021). *Finite Element Method* (Metode Elemen Hingga) adalah salah satu metode yang dapat digunakan sebagai media simulasi untuk memfasilitasi pembelajaran berdasarkan pengalaman (Prasetya et al., 2022).

Ada alasan kuat untuk mengintegrasikan FEM ke dalam pendidikan teknik berdasarkan

penerapannya . Pertama, semua sarjana teknik harus memiliki setidaknya pemahaman dasar tentang Metode Elemen Hingga karena penggunaan FEM menjadikannya penting. Kedua, fenomena fisik yang kompleks, termasuk keadaan tegangan, bentuk defleksi, perpindahan panas, aliran fluida, bentuk mode, dan medan magnet dapat lebih dipahami dan ditunjukkan dengan penggunaan FEM. Ketiga, dengan menggunakan FEM, mahasiswa dapat menguji sistem mekanis yang lebih realistis dan rumit, sehingga memungkinkan mereka bereksperimen dengan desain yang lebih maju (Prasetya et al., 2022).

Berdasarkan hasil observasi pada mahasiswa S1 Pendidikan Teknik Otomotif Universitas Negeri Malang di kelas mata kuliah Bahan Teknik, didapatkan informasi bahwa Bahan Teknik merupakan materi yang sulit dipahami dan diperlukan media yang berbasis pengalaman eksperimen terkait mekanika struktur. Selain itu berdasarkan hasil wawancara dengan dosen pengampu diperoleh informasi bahwa pembelajaran *experiential learning* menggunakan *finite element* dengan *software* Ansys dapat menjadi inovasi pembelajaran dalam hal melengkapi informasi visual dari materi Bahan Teknik.

Dengan adanya pengembangan yang dilakukan yaitu mengembangkan *experiential learning* menggunakan modul “*Static Structural*” dengan *finite element method* dapat menambah pemahaman mahasiswa pada pembelajaran. Inovasi yang dilakukan yaitu mengembangkan *experiential learning* berbasis modul menggunakan *finite element method*. Pembelajaran eksperimental merangsang pemikiran asli dan mengembangkan berbagai strategi pemikiran dan keterampilan persepsi. *Experiential learning* diterapkan melalui refleksi dan pembentukan makna pemahaman dari pengalaman langsung seorang individu (Lastri et al., 2019).

Oleh karena itu penelitian ini akan membahas tentang pengembangan modul *Static Structural* berbasis *Experiential Learning* menggunakan *Finite Element Method* pada Mata Kuliah Bahan Teknik. Penelitian ini diharapkan dapat menambah pemahaman dan menjadi inovasi yang dituju untuk mengatasi beberapa masalah dalam proses pembelajaran mata kuliah Bahan Teknik (Maisarah Azizah, 2021).

## **TINJAUAN PUSTAKA**

Modul dapat diartikan sebagai serangkaian kegiatan pembelajaran terstruktur yang dikembangkan secara utuh dan metodis dengan tujuan membantu siswa dalam menguasai tujuan pembelajaran (Lastri, 2019). Menurut Suanto (2020), sumber belajar diatur dan direncanakan dengan baik di dalam modul. Modul dibuat khusus untuk membantu siswa dalam memahami tujuan pembelajaran tertentu. Sudirman dkk. melakukan penelitian tentang pemanfaatan bahan ajar modul juga. Setelah mengikuti pembelajaran “*Radiator Trainer Heat Transfer Module*”, hasil belajar siswa mengalami peningkatan, berdasarkan analisis data yang

dibuktikan dengan perbandingan hasil sebelum dan sesudah tes yang menunjukkan rata-rata peningkatan hasil belajar sebesar 93%. untuk semua siswa (Ariyanto, 2019). Pengembangan modul *finite element* dalam dunia pendidikan teknik juga dilakukan oleh Azizah, dkk. Untuk membantu mahasiswa memahami CFD (*Computational Fluid Dynamics*) yang sering digunakan untuk memecahkan permasalahan atau menganalisis aliran fluida pada permesinan, jaringan pipa, struktur bangunan, aerodinamika, dan bidang lainnya modul *Computational Fluid Dynamics* dikembangkan. (Maisarah Azizah, 2021).

*Experiential learning* adalah suatu proses pembelajaran di mana pengetahuan diciptakan melalui transformasi pengalaman. Pembelajaran adalah suatu proses di mana pengetahuan diciptakan melalui transformasi pengalaman,” menurut Healey & Jenkins (2000). Menurut Kolb & Plovnick (1974), siklus pengalaman dan perkembangan dipandang sebagai proses pembelajaran dari sudut pandang psikologis. Gaya belajar yang berbeda dan lingkungan yang paling sesuai dapat diidentifikasi berkat kerangka konseptual yang ditawarkan teori pembelajaran eksperimental untuk memahami proses pembelajaran.

*Finite Element Method* (FEM) digunakan untuk mendukung pembelajaran *experiential learning* dengan membantu memvisualisasikan konsep numerik dan objek abstrak. Metode ini biasanya digunakan untuk mengatasi permasalahan yang terlalu rumit. Berbagai permasalahan, seperti permasalahan yang melibatkan tegangan, perpindahan panas, aliran fluida, medan magnet, dan getaran dapat diselesaikan dengan menggunakan *finite element method*. Steven M. dkk. dari Departemen Teknik Mesin Lafayette College di Easton, Pennsylvania, juga menggunakan *Finite Element Method* dalam bidang pendidikan teknik. Kemampuan *Finite Element Method* atau Metode Elemen Hingga untuk memvisualisasikan perilaku fisik berbagai sistem mekanis melalui penggunaan visual komputer dan perhitungan numerik menjadikannya alat pengajaran yang berguna.

*Finite Element Method* atau Metode Elemen Hingga ditinjau dari penerapan praktis dan teknis penerapannya. Mulyadi (2011), menyatakan bahwa permasalahan nilai batas yang ditandai dengan persamaan diferensial parsial dan kondisi batas dapat diselesaikan secara numerik dengan menggunakan metode elemen hingga. Pendekatan elemen hingga dapat digunakan untuk mengatasi berbagai permasalahan, termasuk permasalahan phisis. Pendekatan elemen hingga dapat digunakan untuk menangani masalah fisik berikut ini, seperti analisis getaran, tekuk (*buckling*), dan masalah tegangan (*stress*). Penelitian dan industri telah memperoleh manfaat dari penemuan-penemuan yang dimungkinkan oleh pendekatan elemen hingga. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa eksperimen numerik sudah mencukupi.

Konsep dasar tegangan dan regangan, rasio poisson, statis tentu dan statis tak tentu, torsi, momen lentur (*bending moment*), tegangan geser transversal, dan transformasi tegangan semuanya dibahas pada mata kuliah bahan teknik. Standar bahan, standar pengujian, konsep bahan besi dan non-besi, bahan polimer, bahan komposit Untuk SCPL (Standar Capaian Pembelajaran Lulusan) yaitu mahasiswa memiliki pengetahuan terhadap ilmu dasar otomotif yang mendalam sebagai dasar untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang otomotif yang sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Sedangkan CPMK (Capaian Pembelajaran Mata Kuliah) Bahan Teknik di Universitas Negeri Malang adalah memahami material teknik, proses bahan teknik, standar material, standar uji, konsep material *ferro* dan *non-ferro*, material polimer, komposit, konsep dasar tegangan dan regangan, *poisson ratio*, statis tentu dan tak tentu, torsi, *bending moment*, *tranverse shear stress*, dan *stress transformation* (Siakad, 2024).

Bahan teknik merupakan bahan yang digunakan dalam profesi teknik untuk rekayasa dan desain serta untuk konstruksi barang Bidang keilmuan material mengkaji hubungan antara struktur dan karakteristik material. Hubungan antara struktur material dan sifat-sifatnya didasarkan pada rekayasa material, yang merancang struktur material agar memiliki atribut yang diperlukan (Hermawan Yudha Prasetya, Danar Susilo Wijayanto, 2022).

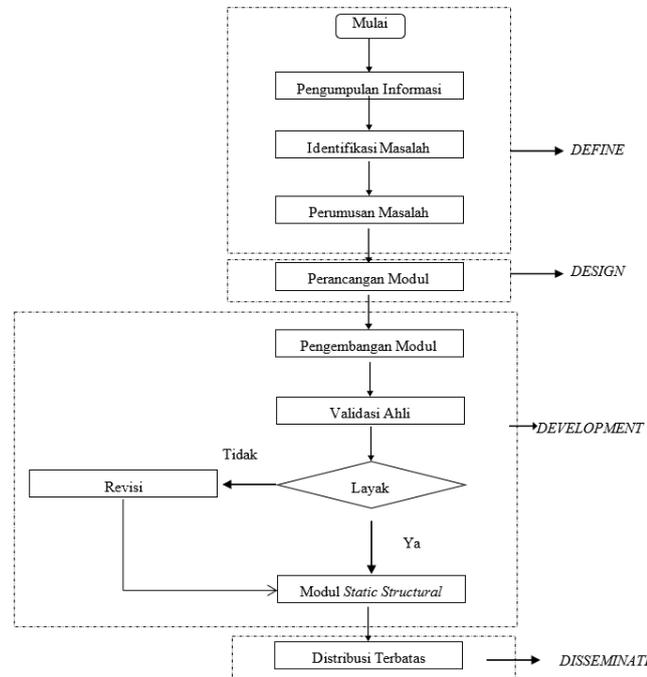
Logam adalah zat alami yang sangat bermanfaat bagi banyak aspek kehidupan manusia. Logam besi (*ferrous*) dan *non-ferrous* adalah dua kategori yang memisahkan bahan logam. Logam paduan yang disebut logam besi, seperti baja dan besi tempa, terbuat dari kombinasi komponen karbon dan besi. Sedangkan logam *non-ferrous* meliputi tembaga, aluminium, timah, dan logam lain yang tidak mengandung unsur besi. Oleh karena itu, daur ulang sangat penting untuk mengurangi polusi limbah, dan juga akan menghemat material baru dengan mencegah perlunya pengecoran logam (Wibowo, 2013).

Menurut Nasution (2020), AISI 1020 merupakan baja karbon rendah yang memiliki komponen karbon 1,40–1,70% Ni, 0,90–1,40% Cr, dan 0,20-0,30%) Mo. Baja JIS S20C dan DIN CK22 C22 sebanding dengan AISI baja 1020. Tabel di bawah ini menunjukkan komposisi kimia baja AISI 1020 sesuai dengan spesifikasi DIN CK22.C22 dan AISI (*American Iron and Steel Institute*). Bentuk baja AISI 1020 yang banyak tersedia meliputi *gear*, *billet*, bar, batangan *forging*, lembaran, tabung, kawat las, aut, sekrup, roda gigi, batang piston mesin, roda pendaratan, dan komponen roda pendaratan penerbangan adalah beberapa kegunaan umum baja ini.

Baja AISI 4340 merupakan baja karbon sedang dengan komposisi sebagai berikut: kandungan karbon 0,36 - 0,44%, kandungan silika 0,15 - 0,35%, kandungan mangan 0,50 - 0,70%, kandungan fosfor 0,035%, kandungan sulfur 0,035%, kandungan sulfur 1,40 -

Kandungan nikel 1,70 %, kandungan kromium 0,90–1,40 %, dan kandungan molibdenum 0,20–0,30)% (Priyanto, 2023). Pada komponen mesin yang mengalami tingkat keausan atau gesekan yang tinggi, AISI 4340 sering digunakan sebagai material komponen pengatur katup aliran mesin dan gas.

## METODE



**Gambar 1. Diagram Alir Penelitian**

Teknik penelitian dan pengembangan, atau disingkat R&D (*research and development*) digunakan untuk melakukan penelitian ini. Berbagai model dapat digunakan dalam proses pengembangan untuk perangkat pembelajaran atau alat bantu pembelajaran. Meskipun demikian, penelitian ini menggunakan model 4D (*Define, Design, Develop, dan Disseminate*) sebagai alur penelitian untuk pengembangan dalam penelitian ini yang diciptakan oleh S. Thiagarajan, Dorothy S. Semmel, dan Melvyn I. Semmel (1974:5). Dari penelitian pengembangan yang dilakukan bertujuan untuk menciptakan produk bahan ajar berupa modul *Static Structural* yang diuji kelayakannya oleh validator ahli dari tiga aspek yaitu aspek materi, aspek bahasa, dan aspek desain.

Indikator-indikator dalam penilaian lembar validasi oleh validator ahli dalam aspek materi meliputi kesesuaian materi dengan capaian mata kuliah, dan keakuratan materi. Dalam aspek bahasa antara lain lugas, komunikatif, interaktif, sesuai dengan kaidah bahasa Indonesia, dan penggunaan istilah. Sedangkan dalam aspek desain antara lain desain sampul modul, dan desain isi modul.

Teknik analisis kuantitatif digunakan untuk menghitung rata-rata hasil validasi, sedangkan metode analisis kualitatif digunakan untuk menjawab pertanyaan yang membutuhkan pemahaman mendalam tentang suatu fenomena atau proses. Validitas modul ditunjukkan oleh penilaian validator. Metrik yang digunakan untuk mengevaluasi validitas Modul dan bobot yang diberikan untuk setiap nilai dirinci dalam tabel berikut.

Klasifikasi Tanggapan	Bobot Nilai
Tidak Valid (TV)	1
Kurang Valid (KV)	2
Valid (V)	3
Sangat Valid (SV)	4

**Tabel 1. Bobot Nilai Kevalidan Modul**

Nilai validasi dihitung dengan menjumlahkan hasil perkalian jumlah penguji dengan skala nilai yang telah ditentukan. Rumus yang diterapkan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Sangat Valid} &= n \times 4 \dots\dots\dots(3.1) \\
 \text{Valid} &= n \times 3 \dots\dots\dots(3.2) \\
 \text{Kurang Valid} &= n \times 2 \dots\dots\dots(3.3) \\
 \text{Tidak Valid} &= n \times 1 \dots\dots\dots(3.4) \\
 &+ \\
 \text{Jumlah Skor} &= \dots\dots\dots(3.5) \\
 \text{Dimana } n &= \text{Jumlah validator}
 \end{aligned}$$

Setelah total skor divalidasi, langkah selanjutnya adalah menentukan hasil penilaian. Hasil penilaian evaluasi atau validasi ditemukan dengan menerapkan rumus berikut.

$$\text{HR} = \frac{\sum SP}{\sum SM} \times 100\% \dots\dots\dots (3.6)$$

Catatan:  
 HR = Hasil *rating*  
 $\sum SP$  = Jumlah skor yang diperoleh  
 $\sum SM$  = Jumlah skor maksimum

Kriteria evaluasi berupa rentang skor atau statistik naratif digunakan untuk melakukan analisis berdasarkan balasan atau tanggapan validator. Tabel berikut digunakan untuk menentukan kriteria penilaian sinkronis validitas modul.

Kategori	Bobot Nilai	Nilai (%)
Tidak Layak (TV)	1	25%-43%
Kurang Layak (KV)	2	44%-62%
Layak (V)	3	63%-81%
Sangat Layak (SV)	4	82%-100%

**Tabel 1. Rentang Skor Kevalidan Modul**

## HASIL DAN PEMBAHASAN

## Hasil

### Tahap Pendefinisian (*Define*)

Dengan menggunakan perangkat lunak Ansys Student, studi tentang persyaratan yang diperlukan untuk mengembangkan modul "*Static Structural*" dilakukan pada tahap pendefinisian mata kuliah Bahan Teknik untuk melakukan studi pembelajaran berdasarkan *experiential learning* menggunakan simulasi komputer. Pada tahap ini, informasi dikumpulkan melalui survei dan wawancara, yang kemudian diperiksa secara deskriptif menggunakan penelitian teoretis yang relevan. Tentu saja tujuan dari angket ini adalah untuk membantu dalam analisa awal kebutuhan siswa, yang menjadi dasar pembuatan modul "*Static Structural*".

Ada sepuluh pertanyaan dalam kuesioner ini. Pada tahap ini, informasi telah dikumpulkan yang menunjukkan bahwa mempelajari mata kuliah Bahan Teknik mencakup konten yang sulit untuk dipahami dan banyak mahasiswa masih kekurangan buku pegangan atau modul yang diperlukan.

Sedangkan untuk tahap wawancara, diperoleh informasi bahwa dalam kegiatan pembelajaran mata kuliah "Bahan Teknik" pengajar belum menggunakan finite element method dalam inovasi pembelajaran untuk melengkapi informasi visual dari materi bahan teknik.

### Tahap Perancangan (*Design*)

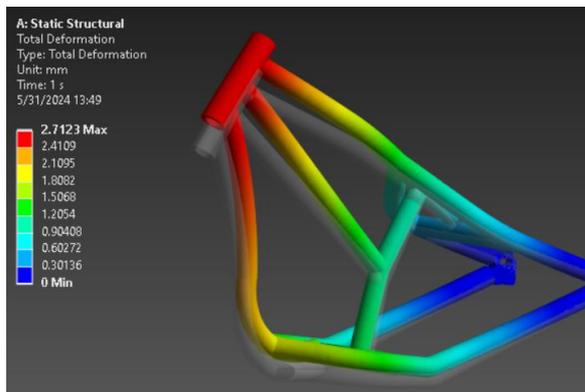
Setelah tahap pendefinisian, tahapan selanjutnya adalah tahap perancangan, dimana tujuannya adalah untuk membuat modul "*Static Structural*". Tahapan ini akan dikembangkan sehingga dihasilkan rancangan desain modul yang meliputi sampul, pendahuluan, materi pokok, dan pengayaan.

Pada tahap ini memuat pembahasan materi pokok pembahasan *Static Structural* dengan Ansys Student. Materi yang disampaikan kepada mahasiswa meliputi: 1) pengenalan *Software Ansys*, 2) *Static Structural* meliputi definisi, fungsi dan kelebihan *Static Structural* menggunakan *Software Ansys*, dan aplikasi *Static Structural* dalam bidang *engineering*, 3) Tegangan, 4) Kurva Tegangan-Regangan, 5) Gaya Geser, 6) Momen Lentur, 7) Torsi, 8) Contoh soal dan pembahasan sebagai contoh studi kasus untuk dipahami oleh mahasiswa sebagai latihan berfikir kritis dan kreatif dalam memecahkan sebuah masalah.

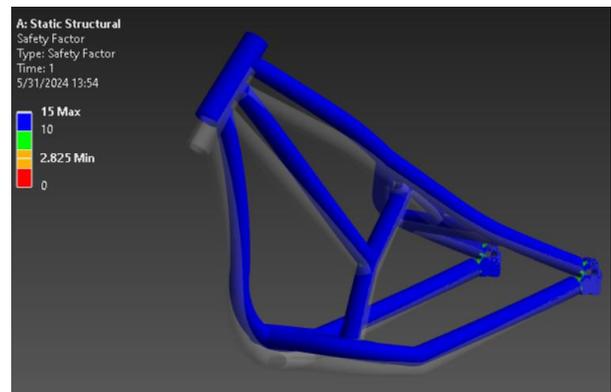
Pada modul ini pembagian bab-dibagi menjadi 6 bagian. Bab 1 menjelaskan tentang *introduction* atau pengenalan dari latar belakang pembuatan modul dan *software Ansys*. Bab 2 menjelaskan tentang teori-teori dari *static structural*, tegangan, regangan, kurva tegangan-regangan, tegangan normal, gaya geser, *bending moment*, torsi, baja AISI 1020, baja AISI 4340,

aluminium alloys 6061-T6 (*Stainless Stell*), dan aluminium alloys 7050-T3510 (*Stainless Stell*). Bab 3 menjelaskan tentang bagian-bagian pada Ansys *Workbench* mulai dari Ansys *Workbench Interface*, *Toolbox*, dan *Project Schematic*. Bab 4 menjelaskan tahapan-tahapan analisis menggunakan Ansys *Workbench* seperti tahap *engineering data*, *geometry*, *model*, *setup*, *solution*, *result*, dan membaca nilai simulasi. Pada bab 5 modul ini mensimulasikan uji *bending*, uji puntir, uji *force* pada *shaft BLDC HPM 20KW* dan *frame bike chopper*. Pada bab 6 modul ini memberikan contoh-contoh soal dan pembahasan menggunakan Ansys *Student*.

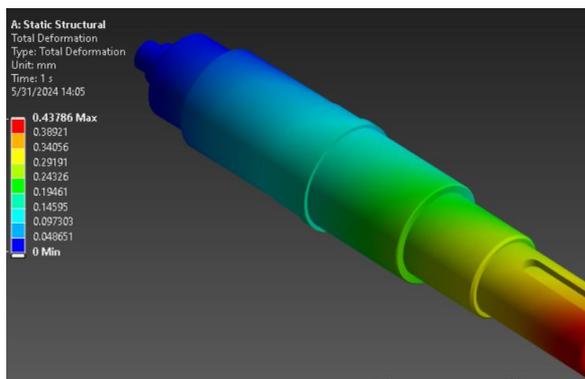
Pada tahap ini dilakukan juga simulasi pembebanan menggunakan rangka sepeda motor tipe *chopper* dan *shaft BLDC HPM 20KW Golden Motor* untuk memberikan contoh visual terhadap materi konsep dasar tegangan, regangan, torsi, dan *bending moment*. Pada simulasi pembebanan pada rangka diberi gaya (*force*) sebesar 15.000 N, sedangkan untuk *shaft* diberi *force* sebesar 1000 N dan torsi 160.000 N.mm masing-masing menggunakan material AISI 1020 dan AISI 4340.



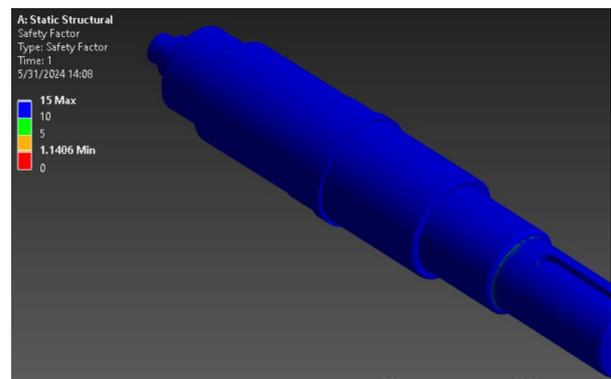
Gambar 2. Total Deformation Frame Chopper



Gambar 3. Safety Factor Frame Chopper



Gambar 4. Total Deformation Shaft BLDC HPM 20KW



Gambar 5. Safety Factor Shaft BLDC HPM 20KW

Benda Kerja	Material	Total Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress	Max. Shear Stress	Safety Factor	Keterangan
Frame Chopper	AISI 1020	2.7123 mm	0.00062385	124.45 MPa	62.888 MPa	2.9566	Aman
	AISI 4340	2.6411 mm	0.00061181	125.04 MPa	63.211 MPa	5.9254	Aman
Shaft BLDC HPM 20KW	AISI 1020	0.44717 mm	0.0040448	630.84 MPa	363.95 MPa	0.055731	Gagal
	AISI 4340	0.43786 mm	0.00338747	622.49 MPa	359.1 MPa	1.1406	Aman

Tabel 2. Hasil Analisis Menggunakan Ansys

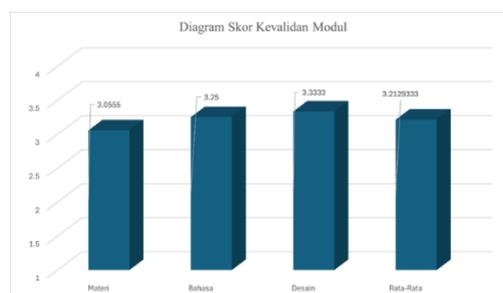
### Tahap Pengembangan (*Development*)

Validasi modul dilakukan pada tahap ini. Kelayakan modul "*Static Structural*" terdiri dari komponen materi, bahasa, dan desain dievaluasi untuk memastikan apakah suatu modul layak. Dengan menggunakan lembar validasi modul, dosen yang mempunyai pengalaman relevan melakukan evaluasi. Tiga faktor dipertimbangkan ketika menganalisis kelayakan modul "*Static Structural*", yang didasarkan pada temuan validasi dari dosen yang ahli. Hasil seluruh uji kelayakan ahli ditampilkan dalam tabel dan gambar dalam ringkasan berikut:

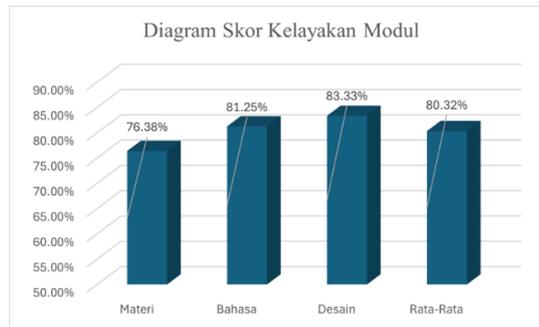
No.	Aspek	Kevalidan	Keterangan	Persentase Kelayakan	Keterangan
1.	Materi	3.0555	Valid	76.38%	Layak
2.	Bahasa	3.25	Valid	81.25%	Layak
3.	Desain	3.3333	Sangat Valid	83.333%	Sangat Layak
Total		9.6388		240.963%	
Rata-Rata		3.2129333	Valid	80.321%	Layak

Tabel 3. Hasil Seluruh Uji Kelayakan Ahli

Berikut ini diagram batang skor validitas dan kelayakan modul setelah menerima rangkuman data validasi seperti terlihat pada tabel. Hal ini membantu pemahaman perbandingan materi, bahasa, dan desain serta memungkinkan penghitungan rata-rata.



Gambar 6. Diagram Skor Kevalidan Modul



**Gambar 7. Diagram Skor Kelayakan Modul**

Persentase sebesar 80,32% dicapai oleh modul, persentase tersebut masuk dalam kategori layak berdasarkan rata-rata hasil validasi ketiga aspek (materi, bahasa, dan desain). Dengan demikian, dapat disimpulkan dari hasil validasi bahwa modul “*Static Structural*” yang dibuat dapat digunakan sebagai media pengajaran dalam mata kuliah Bahan Teknik.

### **Tahap Desiminasi (*Desseminate*)**

Tahap desiminasi adalah yang terakhir dalam alur penelitian dan pengembangan ini. Namun diseminasi penelitian ini hanya terbatas pada dosen pengampu mata kuliah Bahan Teknik dan mahasiswa pada program studi S1 Pendidikan Teknik Otomotif Universitas Negeri Malang. Tahap desiminasi dilakukan dengan melibatkan 19 mahasiswa yang sedang menempuh mata kuliah Bahan Teknik pada hari Senin tanggal 13 Mei 2024. Aspek yang dinilai pada tahap desiminasi yaitu materi, *layout*/desain, dan manfaat. Hasil seluruh tanggapan ditampilkan dalam tabel dalam ringkasan berikut:

No.	Aspek	Skor	Persentase	Keterangan
1.	Materi	3.4802	87.006%	Sangat Setuju
2.	Desain	3.5105	87.763%	Sangat Setuju
3.	Manfaat	3.4947	87.368%	Sangat Setuju
Total		10.4854	262.137%	
Rata-Rata		3.4951	87.379%	Sangat Setuju

**Tabel 4. Hasil Seluruh Skor Tanggapan**

Persentase sebesar 87,379% dan skor rata-rata 3.4951 dicapai oleh modul, persentase tersebut masuk dalam kategori sangat menarik untuk digunakan berdasarkan rata-rata skor hasil tanggapan ketiga aspek (materi, desain dan manfaat).

### **Pembahasan**

**Definisi (*Define*)**

Pada tahap *define* yang dilakukan adalah melakukan pra penelitian di kelas dengan menyebar kuesioner kebutuhan mahasiswa pada mata kuliah Bahan Teknik dan melakukan wawancara pada Dosen pengampu. Data berdasarkan hasil penyebaran kuesioner menunjukkan bahwa 12 dari 21 mahasiswa menyatakan bahwa mempelajari mata kuliah Bahan Teknik yang sulit untuk dipahami dan banyak mahasiswa masih kekurangan buku pegangan atau modul yang diperlukan. Hal ini senada dengan penelitian yang dilakukan Raharjo, (2014) bahwa mata kuliah bahan teknik setiap mata pelajaran berbeda-beda tingkat kesulitannya. Sebagian besar mahasiswa merasa kesulitan menggunakan bidang geser atom dalam situasi praktis. Bidang di mana setiap atom sel satuan bergerak dikenal sebagai bidang geser. Karena rendahnya kemampuan pemecahan masalah pada materi struktur kristal, beberapa siswa mengalami kesulitan dalam memahami struktur kristal atom dan menghitung sifat-sifat sel satuan. Siswa yang tersisa mengalami kesulitan dalam topik lain.

Data berdasarkan hasil wawancara dengan dosen pengampu bahwa pembelajaran tidak pernah melakukan eksperimen menggunakan laboratorium pengujian material untuk menunjang pelaksanaan pembelajaran. Karena saat ini referensi sumber pembelajaran masih sedikit, permasalahan ini turut menyebabkan ketidaktertarikan siswa terhadap materi pelajaran.

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan dan materi pada lokasi penelitian, maka penulis memilih untuk mengembangkan modul *Static Structural* berbasis *experiential learning* untuk inovasi pembelajaran dalam hal melengkapi informasi visual dari materi Bahan Teknik. Muliatna (2017), mengatakan bahwa penggunaan modul pembelajaran yang terdapat peningkatan aktivitas belajar siswa setelah menggunakan modul yang dikembangkan, sebesar 30%. Selain itu pada penelitian Salilama (2021), peningkatan yang signifikan dalam hasil belajar siswa setelah penggunaan metode pembelajaran *experiential learning*. Metode pembelajaran ini tidak hanya menguatkan konsep pada siswa tetapi juga memberikan pengalaman yang nyata kepada siswa.

**Desain (*Design*)**

Tahap desain/*design* menyiapkan dan menyajikan materi serta validasi yang disesuaikan dengan indikator CPMK untuk bahan teknik. Survei respon siswa dan kuesioner evaluasi kelayakan adalah instrumen penelitian. Siswa mengisi kuesioner daya tarik untuk mengukur seberapa menarik modul *Static Structural* berbasis pembelajaran eksperiensial ini, sementara validator menggunakannya untuk menganalisis kelayakan produk. Modul *Static Structural* dengan metode *experiential learning* merupakan produk akhir dari penelitian tersebut.

Materi yang dipakai adalah konsep dasar tegangan, regangan, torsi, dan *bending moment*. Pada materi-materi tersebut tentunya dibutuhkan perhitungan dan pemodelan numerik 3D yang dapat dilakukan dengan bantuan *software* Ansys (Maisarah Azizah, 2021). Namun, pada mata kuliah ini masih belum ada bahan ajar yang menunjang mahasiswa untuk memahami penggunaan *finite element*. Daya tarik modul adalah adanya uji coba menggunakan *software* Ansys untuk mempelajari analisa berbagai macam bahan teknik agar belajar terasa lebih menyenangkan (Hermawan Yudha Prasetya, Danar Susilo Wijayanto, 2022). Pendekatan yang digunakan dalam pengembangan modul ini adalah *experiential learning* dan pendekatan lain yang dipakai mengikuti konsep kurikulum *problem-based learning* yang ada di Universitas Negeri Malang yang mampu mengembangkan kemampuan pola berpikir mahasiswa (Amin, 2019).

### **Pengembangan (*Development*)**

Setelah tahap desain, konsep siap untuk tahap pengembangan produk yang disebut tahap pengembangan (*development*). Dengan menggunakan *Microsoft Word*, dimulai dengan menyusun struktur modul yang terdiri dari sampul modul, materi (isi), dan sampul. Bagian pembuka modul merupakan *cover* modul disesuaikan dengan materi Bahan Teknik serta kolom identitas diri. Bagian isi modul terdiri dari materi 1) pengenalan *Software Ansys*, 2) *Static Structural* meliputi definisi, fungsi dan kelebihan *Static Structural* menggunakan *Software Ansys*, dan aplikasi *Static Structural* dalam bidang *engineering*, 3) Tegangan, 4) Kurva Tegangan-Regangan, 5) Gaya Geser, 6) Momen Lentur atau *Bending Moment*, 7) Torsi, dan 8) Contoh soal dan pembahasan sebagai contoh studi kasus untuk dipahami oleh mahasiswa sebagai latihan berfikir kritis dan kreatif dalam memecahkan sebuah masalah. Agar siswa dapat menerapkan apa yang telah mereka pelajari, prosedur pembelajaran berdasarkan pengalaman juga memberikan penekanan yang kuat pada eksplorasi (Purnomo, 2013). Setelah modul selesai, lanjutkan ke tahap validasi dan evaluasi kelayakan dan validitasnya sebelum tahap desiminasi kepada mahasiswa, karena gagasan validator dapat dijadikan pedoman perbaikan, maka evaluasi ini dilakukan untuk mengumpulkan masukan dan saran terhadap modul yang sedang dibangun (Ariana, 2018).

Modul *Static Structural* dengan pendekatan *experiential learning* ini divalidasi oleh validator ahli dengan tiga aspek yaitu aspek materi, bahasa, dan aspek desain. Hasil rata-rata skor dan persentase ketiga aspek kelayakan modul memperoleh nilai 3.212 dan 80.321% sehingga didapatkan kategori layak dan dapat digunakan sebagai media pengajaran dalam mata kuliah Bahan Teknik berdasarkan teori Fauzan & Rahdiyanta (2017), suatu modul dikatakan sangat baik apabila persentasenya lebih dari 76% dari nilai kriteria yang telah ditetapkan.

### **Desiminasi (*Desseminate*)**

Dalam tahap ini modul yang telah layak dan dapat digunakan sebagai sumber pembelajaran untuk mahasiswa Bahan Teknik, sehingga modul *Static Structural* tersebut sudah dapat dipergunakan secara terbatas. Tahap *disseminate* modul tersebut diuji coba melibatkan 19 mahasiswa mata kuliah Bahan Teknik.

Dalam tahap ini data yang diperoleh merupakan tanggapan mahasiswa terkait ketertarikan pada modul *Static Structural* berdasarkan tiga aspek yaitu materi, tampilan, dan manfaat.

Hasil seluruh rata-rata skor dan persentase ketiga aspek tanggapan modul memperoleh nilai 3.495 dan 87.368% sehingga didapatkan kategori sangat menarik sebagai media pengajaran dalam mata kuliah Bahan Teknik berdasarkan Salsabila (2023), apabila skor rata-rata lebih dari  $3,25 < M \leq 4,00$  "Sangat Menarik". Dengan demikian, dapat disimpulkan dari hasil desiminasi bahwa modul "*Static Structural*" yang dibuat sangat menarik dan dapat digunakan sebagai media pengajaran dalam mata kuliah Bahan Teknik.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian yang berjudul "Pengembangan Modul *Static Structural* Berbasis *Experiential Learning* Menggunakan *Finite Element Method* Pada Mata Kuliah Bahan Teknik" dapat disimpulkan, penelitian ini menghasilkan sebuah modul pembelajaran Bahan Teknik yaitu modul "*Static Structural*" berbasis *experiential learning* menggunakan pengembangan 4D (*define, design, development, dan disseminate*) dari Thiagarajan dengan memanfaatkan *finite element method* sebagai alat bantu dalam pembelajaran Bahan Teknik. Modul *Static Structural* terdapat 4 komponen (*Concrete Experience, Reflective Observation, Abstract Conceptualization, dan Active Experimentation*) sesuai dengan penerapan pembelajaran *experiential learning* pada capaian mata kuliah konsep dasar tegangan, regangan, torsi, *bending moment*, dan *shear stress*. Kelayakan modul pembelajaran Bahan Teknik dengan pendekatan *experiential learning* dinilai "layak" dengan skor 80.32% oleh validator dengan keahlian di aspek materi, bahasa, dan desain. Nilai kelayakan sebesar 76.83% didapat dalam hasil uji kelayakan aspek materi. Nilai kelayakan sebesar 81.25% didapat dalam hasil uji kelayakan aspek bahasa. Nilai kelayakan 83.33% merupakan hasil uji dari aspek desain. Semua aspek masuk ke dalam kategori yang layak dan dapat digunakan untuk modul ajar atau suplemen pembelajaran dosen maupun mahasiswa dalam mata kuliah Bahan Teknik.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuannya hingga terselesaikannya penelitian ini, dosen pembimbing dan penguji, ketua laboratorium, dan laboran Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M. (2019). Penerapan Model Project Based Learning untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa di SMK Negeri 1 Bireun pada Materi Teknik Pengelasan Busur Manual. *Jurnal Pendidikan, Sains, Dan Humaniora*, 7(4), 503–511.
- Anas, Z., & Budiman, A. (2020). Evaluasi Program Pembelajaran Pekerjaan Dasar Teknik Otomotif Kelas X Tkro Di Smk Negeri 1 Sedayu. *Jurnal Pendidikan Vokasi Otomotif*, 2(2), 1–22. <https://doi.org/10.21831/jpvo.v2i2.33561>
- Ariana, I. W., Dewi, L. J. E., & Dantes, K. R. (2018). Pengembangan Media Pembelajaran Sistem Pemindah Tenaga Materi Gardan Berbasis Flash. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 6(2), 66. <https://doi.org/10.23887/jjtm.v6i2.14855>
- Ariyanto, S. R., I Made Arsana, & Ulum, R. (2019). Pengembangan Modul Radiator Trainer Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Unesa. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 4(2).
- Fauzan, M. A., & Rahdiyanta, D. (2017). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Video pada Teori Pemesinan Frais. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 2(2), 82. <https://doi.org/10.21831/dinamika.v2i2.15994>
- Healey, M., & Jenkins, A. (2000). Kolb's experiential learning theory and its application in geography in higher education. *Journal of Geography*, 99(5), 185–195. <https://doi.org/10.1080/00221340008978967>
- Hermawan Yudha Prasetya, Danar Susilo Wijayanto, T. W. S. (2022). Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 10, 14–21. <http://10.0.93.79/jptm.v10i2.51606>
- Kolb, D. A., & Plovnick, M. S. (1974). The experiential learning theory of career development. *Working Paper Alfred P. Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology*, pp.64. [https://www.academia.edu/62285716/The\\_experiential\\_learning\\_theory\\_of\\_career\\_development](https://www.academia.edu/62285716/The_experiential_learning_theory_of_career_development)
- Lastri, N., Hamidah, A., & Hsb, M. H. E. (2019). Pengembangan e-Modul Berbasis Model Experiential Learning pada Materi Pencemaran Lingkungan untuk SMP Kelas VII. *Edu-Sains*, 8(2), 11–17.
- Maisarah Azizah, I. M. A. (2021). Pengembangan Modul Computational Fluid Dynamics Di Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya Maisarah Azizah I Made Arsana Abstrak. *Pengembangan Modul Computational Fluid Dynamics Di Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya Pengembangan*, 37–42.
- Muliatna, E. F. & I. M. (2017). *Pengembangan modul trainer sistem penerangan pada mata*

pelajaran kelistrikan otomotif untuk meningkatkan hasil belajar siswa teknik kendaraan ringan di SMK Raden Patah Mojokerto.

- Mulyadi, S. (2011). Analisa Tegangan-Regangan Produk Tongkat Lansia Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal ROTOR*, 4, 1.
- Nasution, M. N. (2020). Analisa Ekerasan Dan Struktur Mikro Baja Aisi1020 Terhadap Perlakuan Carburizing Dengan Arang Batok Kelapa. *Buletin Utama Teknik*, 15(2), 165.
- Prasetya, H. Y., Wijayanto, D. S., & Saputra, T. W. (2022). Pengembangan Experiential Learning Dengan Metode Elemen Hingga Pada Mata Kuliah Aerodinamika. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 10, 14–21. <http://10.0.93.79/jptm.v10i2.51606>
- Priyanto, K., Palmiyanto, M. H., Priyambodo, B. H., & Cahyono, E. (2023). Studi Variasi Temperatur Hardening Terhadap Kekerasan Baja Aisi 4340 Melalui Jominy Test. *Teknika*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.52561/teknika.v8i1.205>
- Purnomo, A. J., Karsono, & Suharmanto, A. (2013). *Penerapan Model Pembelajaran Experiential Learning Berbantuan Modul Pada Kompetensi Menggunakan Alat-Alat Ukur (Measuring Tools)*. 1(1), 115–124.
- Salilama, I. (2021). Meningkatkan Hasil Belajar Siswa pada Mata Pelajaran Bahasa Indonesia Melalui Metode Experiential Learning pada Siswa Kelas XI IPS 2 SMA Negeri 1 Tilamuta. *Jurnal Normalita*, 9(1), 127–136. <https://ejurnal.pps.ung.ac.id/index.php/JN/article/view/624>
- Salsabila, A. H., Iriani, T., & Sri Handoyo, S. (2023). Penerapan Model 4D Dalam Pengembangan Video Pembelajaran Pada Keterampilan Mengelola Kelas. *Jurnal Pendidikan West Science*, 1(08), 495–505. <https://doi.org/10.58812/jpdws.v1i08.553>
- Suanto, E., Armis, A., & Suhermi, S. (2020). Pengembangan Bahan Ajar Matematika Berazaskan Experiential Learning Untuk Meningkatkan Kemahiran Berpikir Tingkat Tinggi Siswa SMP. *Jurnal Cendekia : Jurnal Pendidikan Matematika*, 4(2), 1300–1310. <https://doi.org/10.31004/cendekia.v4i2.365>
- Wibowo, A. D., Wijayanto, S., Harjanto, B., Pendidikan, P., Mesin, T., Teknik, J. P., Kejuruan, D., Uns, K., Yani, P. J. A., & Surakarta, T. /. (2013). Pengaruh Variasi Jenis Cetakan Dan Penambahan Serbuk Dry Cell Bekas Terhadap Porositas Hasil Remelting Al-9%Si Berbasis Piston Bekas. *Jurnal Ilmiah Jurusan Teknik Mesin*, 1(3).