

**ANALISIS STATIS DAN DINAMIS STRUKTUR PROTOTIPE
MESIN CNC UNTUK APLIKASI PEMESINAN MATERIAL
HARD-TO-CUT MENGGUNAKAN METODE ELEMEN
HINGGA**

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh
Parhan Akbar
221411034



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MANUFAKTUR
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

**ANALISIS STATIS DAN DINAMIS STRUKTUR PROTOTIPE
MESIN CNC UNTUK APLIKASI PEMESINAN MATERIAL
HARD-TO-CUT MENGGUNAKAN METODE ELEMEN**

HINGGA

Oleh:

Parhan Akbar

221411034

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program
pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)
Politeknik Manufaktur Bandung

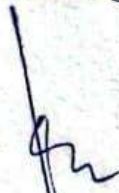
Bandung, 1 Agustus 2025

Disetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Pembimbing III,



Haris Setiawan, SST.,
MT.

M. Aditya Rovandi, S.Tr.,
M.Sc., Ph.D.

Dede Buchori M.,
Masch.Ing.HTL, MT.

NIP. 197512042001121001

NIP. 199411122024061001

NIP. 196405241994031002

Disahkan,

Ketua Penguji,

Penguji I,

Penguji II,



M. Ali Suparman,
Masch.Ing.HTL, M.T.,
NIP. 196011011989031000

Mohammad Yazid
Dirafama, S.Tr., M.T.,
NIP. 199401032022031014

Novi Saksono Brodjo
Muhadi, S.T., M.T.,
NIP. 196711251992031002

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Parhan Akbar
NIM : 221411034
Jurusan : Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : **ANALISIS STATIS DAN DINAMIS STRUKTUR PROTOTIPE MESIN CNC UNTUK APLIKASI PEMESINAN MATERIAL *HARD-TO-CUT* MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

Menyatakan bahwa:

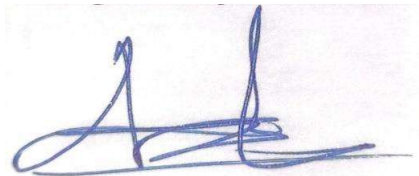
1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung

Pada tanggal : 1 Agustus 2025

Yang Menyatakan,



Parhan Akbar
NIM 221411034

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

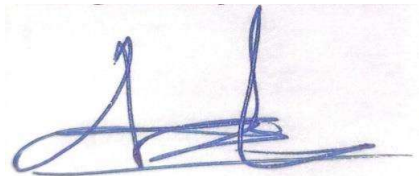
Nama : Parhan Akbar
NIM : 221411034
Jurusan : Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : **ANALISIS STATIS DAN DINAMIS STRUKTUR PROTOTIPE MESIN CNC UNTUK APLIKASI PEMESINAN MATERIAL *HARD-TO-CUT* MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 1 Agustus 2025
Yang Menyatakan,



Parhan Akbar
NIM 221411034

MOTO PRIBADI

"Enggan menahan lelahnya menuntut ilmu hanyalah awal dari panjangnya derita dalam kebodohan."

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, Tuhan semesta alam. Hanya kepada-Nya kami memuji, memohon pertolongan, dan memohon ampunan. Kami berlindung kepada-Nya dari keburukan diri kami dan dari amal perbuatan kami yang tidak baik. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah, maka tidak ada yang dapat menyesatkannya. Dan barang siapa yang disesatkan-Nya, maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Aku bersaksi bahwa tiada ilah yang berhak disembah selain Allah, dan aku bersaksi bahwa Nabi Muhammad SAW adalah hamba dan utusan-Nya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: “ANALISIS STATIS DAN DINAMIS STRUKTUR PROTOTIPE MESIN CNC UNTUK APLIKASI PEMESINAN MATERIAL HARD-TO-CUT MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA”.

Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesainya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Orang tua penulis, Ibu Heni Herlina dan Bapak Sukana, yang selalu mendoakan, memotivasi, dan memberikan pengorbanan baik secara moril maupun materi, serta menjadi sumber kekuatan utama dalam setiap langkah kehidupan penulis.
2. Para pembimbing tugas akhir, Bapak Haris Setiawan, S.ST., M.T., Bapak M. Aditya Royandi, S.Tr., M.Sc., Ph.D., dan Bapak Dede Buchori M., Masch.Ing.HTL., M.T., atas bimbingan, arahan, serta ilmu yang telah diberikan selama proses penyusunan tugas akhir ini.
3. Para penguji sidang tugas akhir, Bapak M. Ali Suparman, Masch.Ing.HTL., M.T., Bapak Mohammad Yazid Diratama, S.Tr., M.T., dan Bapak Novi Saksono Brodjo Muhadi, S.T., M.T., atas masukan, koreksi, dan penilaian yang sangat berarti dalam penyempurnaan karya ilmiah ini.
4. Kakak penulis, Puji Sukma beserta keluarga, atas dukungan dan semangat yang terus mengalir selama proses studi hingga penyusunan tugas akhir ini.
5. Saudari Nabila Nurzakia Purnama, atas segala dukungan moril, doa, dan semangat yang telah diberikan selama proses pendidikan ini.
6. Sahabat-sahabat penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas kebersamaan, doa, dan dukungan yang tak ternilai selama masa perkuliahan.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya

membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua.
Aamiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, 1 Agustus 2025

Penulis

ABSTRAK

Industri manufaktur modern menghadapi tantangan dalam memproses material yang sulit dipotong (*hard-to-cut materials*), seperti titanium dan paduan logam berkekuatan tinggi, yang membutuhkan mesin dengan struktur kaku dan akurasi tinggi. Dalam rangka mendukung kemandirian teknologi dan mengurangi ketergantungan terhadap mesin impor, POLMAN Bandung mengembangkan prototipe mesin CNC 3-axis yang dirancang untuk dapat memproses material yang sulit dipotong (*hard-to-cut materials*). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan dan kestabilan struktur prototipe tersebut menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA), baik secara statis maupun dinamis, guna memastikan kemampuan struktur dalam menahan gaya pemotongan dan menghindari resonansi. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS 2024 untuk simulasi struktural dan SolidWorks untuk pemodelan CAD. Fokus utama penelitian adalah evaluasi struktur rangka mesin, seperti *base*, *column*, dan *frame*, yang dibuat dari material FC25. Parameter pembebanan berupa gaya pemotongan minimum untuk material titanium digunakan sebagai representasi material *hard-to-cut*. Lingkup analisis meliputi tegangan, regangan, deformasi, dan frekuensi alami dari struktur. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan data pendukung untuk pengembangan mesin CNC 3-axis yang andal untuk aplikasi pemesinan material sulit dipotong, serta mendorong inovasi teknologi manufaktur lokal di Indonesia.

Kata kunci: analisis struktur, FEA, *hard-to-cut material*, prototipe mesin CNC

ABSTRACT

Modern manufacturing industries face significant challenges in machining hard-to-cut materials, such as titanium and high-strength metal alloys, which require machines with high structural rigidity and precision. To support technological independence and reduce reliance on imported machinery, POLMAN Bandung has developed a 3-axis CNC machine prototype designed to process hard-to-cut materials. This research aims to analyze the structural strength and stability of the prototype using Finite Element Analysis (FEA), both statically and dynamically, to ensure the machine's ability to withstand cutting forces and avoid resonance. The analysis was conducted using ANSYS 2024 for structural simulation and SolidWorks for CAD modeling. The main focus of the study is the evaluation of the machine frame components, such as the base, column, and frame, which are made from FC25. The applied load is based on the minimum cutting force for titanium, representing hard-to-cut materials. The scope of the analysis includes stress, strain, deformation, and the natural frequencies of the structure. The results of this research are expected to provide supporting data for the development of a reliable 3-axis CNC machine for hard-to-cut material machining applications, and to encourage technological innovation in local manufacturing industries in Indonesia.

Keywords: structural analysis, FEA, hard-to-cut material, CNC machine prototype

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xiv
I BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-2
I.3 Batasan Masalah.....	I-3
I.4 Tujuan dan Manfaat	I-3
I.5 Sistematika Penulisan	I-5
II BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 Tinjauan Teori.....	II-1
II.2 Tinjauan Alat.....	II-31
II.3 Studi Penelitian Terdahulu.....	II-33
III BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH	III-1
III.1 Flowchart Penelitian.....	III-1
IV BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-1
IV.1 Persiapan Simulasi	IV-1
IV.2 Proses <i>Meshing</i>	IV-6
IV.3 Hasil Analisis Statis	IV-12
IV.4 Hasil Analisis Dinamis.....	IV-23
V BAB V PENUTUP	V-1
V.1 Kesimpulan	V-1
V.2 Saran.....	V-4
DAFTAR PUSTAKA	v
LAMPIRAN A (Reporting project statis dan dinamis).....	ix
LAMPIRAN B (Uji kekakuan)	xix
LAMPIRAN C (Studi penentuan arah gaya)	xxii

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Rekomendasi <i>radial depth of cut</i>	II-5
Tabel II. 2 Data mc [4].....	II-10
Tabel IV. 1 Hasil defeaturing komponen.....	IV-1
Tabel IV. 2 Data mc[6]	IV-3
Tabel IV. 3 data yang diketahui	IV-4
Tabel IV. 4 Jenis elemen yang dipilih.....	IV-7
Tabel IV. 5 Strategi <i>mesh</i>	IV-7
Tabel IV. 6 Data variasi ukuran elemen dan respons terhadap variabel	IV-9
Tabel IV. 7 Hasil simulasi <i>stress</i>	IV-12
Tabel IV. 8 Hasil <i>safety factor</i>	IV-14
Tabel IV. 9 Data regangan material FC25 [38].....	IV-16
Tabel IV. 10 Detail besar dan arah deformasi.....	IV-17
Tabel IV. 11 Perhitungan momen yang terjadi	IV-21
Tabel IV. 12 Perbandingan metode FEA dan teoritis	IV-22
Tabel IV. 13 Nilai dan arah frekuensi pribadi.....	IV-24
Tabel IV. 14 <i>Participation factor</i>	IV-26
Tabel IV. 15 <i>cumulative efektif mass fraction</i>	IV-27
Tabel IV. 16 <i>Properties</i> struktur	IV-29
Tabel IV. 17 Hasil frekuensi pribadi.....	IV-32
Tabel V. 1 Hasil frekuensi pribadi	V-2

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Klasifikasi material [4]	II-1
Gambar II. 2 Mesin CNC <i>Milling</i> [4].....	II-3
Gambar II. 3 Proses <i>milling</i> [4].....	II-4
Gambar II. 4 Ilustrasi parameter[4].....	II-4
Gambar II. 5 Gaya pemotongan [6]	II-7
Gambar II. 6 Ilustrasi gaya potong [1].....	II-8
Gambar II. 7 Nilai KC1 sesuai klasifikasi material[1].....	II-9
Gambar II. 8 Grafik k_c terhadap h_m	II-10
Gambar II. 9 Ilustrasi <i>Effective rake angle</i> [7].....	II-11
Gambar II. 10 Lebar pemotongan (b) [6].....	II-11
Gambar II. 11 <i>Entering angle</i> [4]	II-12
Gambar II. 12 Grafik kriteria Rankine[12]	II-16
Gambar II. 13 Deformartion [12].....	II-17
Gambar II. 14 Sistem pegas[13].....	II-19
Gambar II. 15 Grafik transmissibility [17]	II-22
Gambar II. 16 Contoh analisis mennggunakan FEA [18].....	II-23
Gambar II. 17 <i>Meshing</i> [21]	II-27
Gambar II. 18 <i>Aspect ratio</i> [22]	II-29
Gambar II. 19 <i>Skewness</i> [22]	II-30
Gambar II. 20 Orthogonal quality [22].....	II-31
Gambar II. 21 Struktur mesin CNC	II-31
Gambar II. 22 Solidworks[23]	II-33
Gambar II. 23 ANSYS[24]	II-33
Gambar III. 1 <i>Flowchart</i> penelitian	III-1
Gambar III. 2 Spesifikasi material FC25[32][33].....	III-2
Gambar IV. 1 Lokasi <i>fixed support</i>	IV-2
Gambar IV. 2 Tools Sandvik R390-020A20-11M[39].....	IV-3
Gambar IV. 3 Besar dan penempatan gaya.....	IV-6
Gambar IV. 4 Besar dan arah gravitasi	IV-6
Gambar IV. 5 Konvergensi terhadap <i>stress</i>	IV-9
Gambar IV. 6 Konvergensi terhadap <i>strain</i>	IV-9
Gambar IV. 7 Konvergensi terhadap deformasi	IV-9
Gambar IV. 8 Tampilan <i>mesh</i>	IV-10
Gambar IV. 9 Ukuran <i>mesh</i>	IV-10
Gambar IV. 10 <i>Element Quality</i>	IV-10
Gambar IV. 11 <i>Aspec ratio</i>	IV-11
Gambar IV. 12 <i>Skewness</i>	IV-11

Gambar IV. 13 Detail tegangan	IV-14
Gambar IV. 14 Kurva <i>stress-strain</i> untuk material <i>gray cast iron</i> [40]	IV-15
Gambar IV. 15 Jenis <i>safety factor</i>	IV-15
Gambar IV. 16 Hasil regangan.....	IV-15
Gambar IV. 17 Hasil deformasi	IV-16
Gambar IV. 18 Penampang yang disederhanakan	IV-18
Gambar IV. 19 Penampang dengan ada centroid.....	IV-19
Gambar IV. 20 Hasil perhitungan Inersia penampang Solidworks.....	IV-20
Gambar IV. 21 Diagram benda bebas	IV-20
Gambar IV. 22 Defleksi akibat momen	IV-21
Gambar IV. 23 Skema pembebanan.....	IV-28
Gambar IV. 24 Grafik hasil uji kekakuan	IV-29

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A** *Reporting project* statis dan dinamis
- Lampiran B** *Reporting uji kekakuan*
- Lampiran C** Studi arah gaya

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

A	=	Luas penampang [mm ²]
a	=	Jarak beban terhadap tumpuan [mm]
b	=	Lebar pemakanan (<i>width of cut</i>) [mm]
d	=	Jarak antara centroid komponen terhadap sumbu netral [mm]
δ	=	Defleksi [mm]
E	=	Modulus elastisitas (Young's modulus) [MPa]
F	=	Gaya [N]
F_c	=	Gaya potong utama (tangensial) [N]
F_r	=	Gaya radial [N]
F_t	=	Gaya tangensial total [N]
G	=	Gaya berat akibat gravitasi [N]
h_m	=	Ketebalan <i>chip</i> rata-rata [mm]
I	=	Momen inersia penampang [mm ⁴]
I_{total}	=	Total momen inersia terhadap sumbu netral [mm ⁴]
K_c	=	<i>Specific cutting force</i> [N/mm ²]
K_{c1}	=	<i>Specific cutting force untuk chip</i> area 1 mm ² [N/mm ²]
K_f	=	Faktor konversi gaya tangensial ke radial ($\approx 0,67$) [-]
L	=	Panjang total struktur atau balok [mm]
M	=	Momen lentur [N·mm]
mc	=	Eksponen konstanta material dalam perhitungan K_c [-]
P	=	Beban terpusat [N]
y(x)	=	Bentuk defleksi sebagai fungsi posisi x [mm]
σ	=	Tegangan normal [MPa]
ε	=	Regangan (<i>strain</i>) [-]
ν	=	Rasio Poisson [-]
ω	=	Frekuensi sudut [rad/s]
f	=	Frekuensi linier [Hz]
CNC	=	Computer Numerical Kontrol
FEA	=	Finite Element Analysis
ISO	=	International Organization for Standardization
CAD	=	Computer-Aided Design
rpm	=	Revolutions per minute (putaran per menit)
mm	=	Millimeter
MPa	=	Megapascal (satuan tekanan)
Hz	=	Hertz (satuan frekuensi)
FC25	=	Ferro Cast grade 25 (nama standar material cast iron)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya industri manufaktur, muncul berbagai macam tantangan dalam melakukan proses pemesinan, salah satunya memproses material yang sulit dipotong (*hard-to-cut materials*), seperti titanium, paduan logam berkekuatan tinggi, dan material lainnya yang memerlukan mesin dengan struktur yang kaku dan akurasi tinggi [1]. Mesin CNC (*Computer Numerical Kontrol*) mengambil peran penting dalam mengatasi masalah tersebut. Mesin CNC adalah mesin yang pergerakannya diatur oleh perintah berbentuk kode. Motor-motor yang ada di dalam mesin tersebut akan menggerakkan komponen sesuai dengan perintah, dengan tingkat akurasi yang tinggi[2].

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Indonesia (2025), Indonesia masih sangat bergantung pada impor mesin dan peralatan listrik, termasuk mesin CNC dan komponennya, dengan total nilai mencapai 27 miliar dolar AS. Tiongkok menjadi pemasok terbesar dengan nilai mencapai 14,4 miliar dolar AS. Ketergantungan ini menunjukkan urgensi untuk mengembangkan mesin CNC secara lokal, terutama untuk aplikasi pemesinan presisi skala kecil, yang menjadi fokus dalam penelitian ini. [3].

POLMAN Bandung mengambil langkah penting dengan mengembangkan prototipe mesin CNC 3-axis yang dirancang untuk memproses material *hard-to-cut*. Pemrosesan material ini memerlukan mesin dengan kemampuan struktural yang sangat baik, mengingat beban dan gaya yang tinggi pada proses permesinan. Selain itu, kualitas permukaan dan ketepatan dimensi yang dihasilkan sangat penting, karena kesalahan dalam proses pemotongan dapat menyebabkan kerusakan alat atau material, bahkan dapat berdampak pada kualitas produk akhir yang dihasilkan[4].

Namun, analisis struktur pada desain prototipe mesin CNC yang dikembangkan di POLMAN Bandung belum dilakukan secara mendalam. Analisis struktur ini diperlukan untuk memastikan bahwa desain prototipe mesin tersebut mampu menahan gaya pemotongan dengan akurat, menjaga kestabilan selama proses

pemesinan, dan menghindari resonansi yang dapat merusak komponen mesin maupun material yang diproses [5].

Pentingnya analisis struktur dalam desain mesin CNC terletak pada kemampuan untuk mengidentifikasi kekuatan struktur menahan beban statis dan mengevaluasi frekuensi pribadi mesin. Data mengenai frekuensi pribadi ini sangat penting untuk menghindari resonansi yang dapat mengganggu kinerja mesin dan merusak komponen yang sedang diproses. Resonansi terjadi ketika frekuensi getaran mesin bertepatan dengan frekuensi pribadi struktur, yang dapat menyebabkan getaran berlebih yang berpotensi merusak struktur dan sistem pemesinan[5]. Oleh karena itu, mengetahui respons statis dan frekuensi pribadi struktur menjadi langkah kritis dalam merancang mesin CNC yang stabil dan efektif.

Berdasarkan paparan di atas, penelitian dengan judul "**ANALISIS STATIS DAN DINAMIS STRUKTUR PROTOTIPE MESIN CNC UNTUK APLIKASI PEMESINAN MATERIAL *HARD-TO-CUT* MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**" ini bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan struktur dalam menerima gaya pemotongan dan mengetahui frekuensi pribadi pada bagian struktur. Data yang diperoleh diharapkan dapat digunakan untuk menentukan spesifikasi komponen lain yang cocok. Dengan demikian, desain prototipe mesin CNC POLMAN dapat direalisasikan dengan baik.

I.2 Rumusan Masalah

I.2.1 Analisis Statis

1. Berapa besar tegangan maksimum yang terjadi pada struktur mesin akibat pembebanan gaya potong, apakah masih dalam batas tegangan izin material?
2. Berapa besar regangan maksimum yang terjadi pada struktur mesin akibat pembebanan gaya potong, apakah masih dalam batas elastis strain material?
3. Berapa besar deformasi maksimum yang terjadi pada struktur mesin akibat pembebanan gaya potong, dan arah mana yang memiliki deformasi paling besar?

I.2.2 Analisis Dinamis

1. Berapa nilai frekuensi pribadi (*natural frequencies*) dari struktur mesin CNC yang dianalisis?
2. Bagaimana arah dominan dan kontribusi massa dari masing-masing mode getar berdasarkan *Participation Factor* dan *Cumulative Effective Mass Fraction*?
3. Apakah frekuensi pribadi struktur berada dalam rentang aman terhadap frekuensi kerja mesin CNC untuk menghindari terjadinya resonansi?

I.3 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang didapatkan, agar dapat dibahas lebih spesifik maka dibentuk beberapa batasan masalah sebagai berikut.

I.3.1 Batasan software

1. Software yang digunakan untuk analisis yaitu ANSYS 2024
2. Software CAD yang digunakan SolidWorks 2024

I.3.2 Batasan Variable

1. Berfokus menganalisis kekuatan struktur (*stress, strain, deformation*) dan dinamika struktur (frekuensi pribadi)
2. Tidak mencakup analisis sistem motor *spindle* atau sistem kontrol mesin

I.3.3 Batasan Komponen

1. Fokus analisis pada struktur rangka mesin (*base, gantry, dan frame*).
2. Tidak termasuk analisis pada bagian spindle, ball screw, dan sistem kelistrikan

I.3.4 Batasan Material

Analisis dilakukan berdasarkan material yang digunakan pada prototipe mesin CNC 3-axis POLMAN yaitu besi tuang atau FC25.

I.3.5 Batasan Lingkup Material

Analisis mencakup kondisi operasi normal pada gaya pemotongan facing (*Feed force, dan cutting force*). Untuk material yang merepresentasikan material *hard-to-cut* yaitu material kelas ISO S yang merupakan super alloy dalam penelitian ini material yang dijadikan penelitian adalah titanium dengan *depth of cut* 2.5mm.

I.4 Tujuan dan Manfaat

I.4.1 Tujuan

1. Analisis Statis
 - a. Menentukan tegangan maksimum pada struktur akibat gaya pemotongan dan safety faktor .
 - b. Menganalisis regangan yang terjadi akibat pembebanan statik.
 - c. Mengevaluasi deformasi total untuk mengidentifikasi kebutuhan penguatan struktur.
2. Analisis Dinamis
 - a. Mengidentifikasi frekuensi pribadi (*natural frequencies*) struktur mesin.
 - b. Menentukan arah dominan dan kontribusi massa tiap mode melalui *Participation Factor* dan *Cumulative Effective Mass Fraction*.
 - c. Mengevaluasi potensi resonansi dengan membandingkan frekuensi pribadi terhadap frekuensi operasional mesin CNC.

I.4.2 Manfaat

1. Bidang Keilmuan
 - a. Penelitian ini akan menjadi referensi penting dalam memahami bagaimana analisis statis dan dinamis dapat diterapkan pada desain prototipe mesin CNC menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA).
 - b. Pengetahuan ini dapat berkontribusi pada pengembangan metode analisis yang lebih efektif untuk meningkatkan performa mesin CNC, khususnya dalam konteks aplikasi material *hard-to-cut*.
 - c. Hasil penelitian dapat memberikan wawasan baru terkait kekuatan material dan struktur dalam kondisi kerja spesifik.
2. Industri
 - a. Dengan mendukung manufaktur lokal, penelitian ini membantu mengurangi ketergantungan terhadap impor mesin CNC dengan spesifikasi tinggi,.
 - b. Penelitian ini memberikan panduan dalam pengembangan mesin CNC yang mampu bekerja dengan material keras seperti titanium.
3. Institusi

- a. Penelitian ini mendukung POLMAN Bandung dalam mengembangkan prototipe mesin CNC 3-axis untuk memenuhi kebutuhan teknologi modern.
- b. Hasil analisis dan rekomendasi dari penelitian ini dapat menjadi langkah awal untuk menciptakan mesin CNC yang lebih canggih dan mampu bersaing dengan produk internasional.
- c. Penelitian ini juga memperkuat posisi institusi sebagai pusat penelitian dan pengembangan teknologi manufaktur yang berorientasi pada kebutuhan industri.

I.5 Sistematika Penulisan

Sistematika proposal Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Berisi uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi gambaran umum tentang landasan teori untuk menjelaskan beberapa istilah dan ilmu terkait serta melihat hasil pencapaian penelitian terdahulu dengan kajian yang sama.

BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH

Berisi langkah-langkah penyelesaian tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Berisi seluruh data yang diperoleh dari hasil penelitian, mulai dari persiapan, pelaksanaan, dan pengujian

BAB V Penutup

Berisi Kesimpulan dari hasil penelitian dan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya