



**ANALISIS KEKUATAN KOMPONEN *BASE CNC*
MICRO-MILLING BERBASIS KOMPOSIT BETON POLIMER
DENGAN AGREGAT LIMBAH GRANIT
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**TUGAS AKHIR
SKRIPSI**

**UNIVERSITAS
MERCU BUANA**
HASTO MURTI YUDHO RAHARJO
41322010016

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**



**ANALISIS KEKUATAN KOMPONEN *BASE CNC*
MICRO-MILLING BERBASIS KOMPOSIT BETON POLIMER
DENGAN AGREGAT LIMBAH GRANIT
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**TUGAS AKHIR
SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

**UNIVERSITAS
MERCU BUANA**
HASTO MURTI YUDHO RAHARJO
41322010016

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**

HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hasto Murti Yudho Raharjo

NIM : 41322010016

Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Mesin

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tugas Akhir berjudul:
"ANALISIS KEKUATAN KOMPONEN *BASE CNC MICRO-MILLING* BERBASIS
KOMPOSIT BETON POLIMER DENGAN AGREGAT LIMBAH GRANIT
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA" adalah hasil karya saya sendiri,
tidak mengandung unsur plagiarisme, pelanggaran hak cipta, atau konten ilegal dalam
bentuk apapun dan tidak melanggar hukum atau hak pihak manapun.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya
bersedia menanggung seluruh konsekuensi hukum dan membebaskan Universitas
Mercu Buana dari segala bentuk tuntutan hukum dan saya siap mendapatkan sanksi
akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan
sebagaimana mestinya.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 17 Agustus 2026



10000
METRO
PMPH
163A0X25504501
Hasto Murti Yudho Raharjo

SURAT KETERANGAN HASIL UJI TURNITIN

Menerangkan bahwa Jurnal / Karya Ilmiah / Laporan Tugas Akhir pada BAB I, BAB III, BAB IV, dan BAB V / Praktek Keinsinyuran atas nama:

Nama : Hasto Murti Yudho Raharjo
NIM : 41322010016
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir / Tesis : Analisis Kekuatan Komponen Base CNC
/ Praktek Keinsinyuran : *Micro-Milling* Berbasis Komposit Beton
Polimer Dengan Agregat Limbah Granit
Menggunakan Metode Elemen Hingga

Telah dilakukan pengecekan Similarity menggunakan aplikasi/sistem Turnitin pada **Jumat, 21 Agustus 2026** dengan hasil presentase sebesar 23 % dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 21 Agustus 2026

UNIVERSITAS

Administrator Turnitin,

MERCU BUANA

Itmam Haidi Syarif

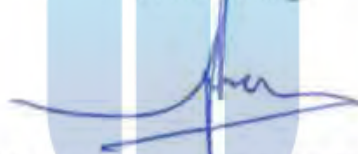
HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Hasto Murti Yudho Raharjo
NIM : 41322010016
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : ANALISIS KEKUATAN KOMPONEN *BASE CNC MICRO-MILLING* BERBASIS KOMPOSIT BETON POLIMER DENGAN AGREGAT LIMBAH GRANIT MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Telah berhasil dipertahankan pada sidang tanggal 11 Agustus 2026 dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata I pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

Disahkan Oleh:
Pembimbing



(Muhammad Fitri, S.T, M.Si., Ph.D)
NIDN: 1013126901

Jakarta, 22 Agustus 2026
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi



(Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, S.TP., M.T.)
NIDN : 0307037202



(Dr. Eng. Imam Hidayat, S.T., M.T.)
NIDN: 0005087502

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana. Saya menyadari tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak semasa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Andi Ardiansyah, M.Eng selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Dr. Ir. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
3. Dr.Eng. Imam Hidayat, ST., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
4. Andarany Kartika Sari, ST., M.Sc., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
5. Muhammad Fitri, S.T, M.Si., Ph.D, Achmad Zaki Rahman, S.T., M.T., Marsetiayu Ningsih, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan Tugas Akhir.
6. Kepada seluruh dosen dan staf akademisi Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
7. Keluarga besar penulis yang selalu memberikan dukungan, motivasi, dan selalu memenuhi kebutuhan penulis secara materi dan immateri selama penulis menempuh proses pendidikan Sarjana di Universitas Mercu Buana.
8. Teruntuk Natasya Cahaya Sari, selaku pasangan yang selalu memberikan dukungan juga semangat selama proses perkuliahan hingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
9. Teman-teman mahasiswa Program Studi Teknik Mesin angkatan 2022, yang telah memberikan bantuan, kerja sama, serta dukungan selama proses perkuliahan serta pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 17 Agustus 2026

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB

Sebagai sivitas akademik Universitas Mercu Buana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hasto Murti Yudho Raharjo
NIM : 41322010016
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : ANALISIS KEKUATAN KOMPONEN *BASE CNC MICRO-MILLING* BERBASIS KOMPOSIT BETON POLIMER DENGAN AGREGAT LIMBAH GRANIT MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini memberikan izin dan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mercu Buana **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul di atas beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Mercu Buana berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 17 Agustus 2026

Yang menyatakan,


Hasto Murti Yudho Raharjo

**ANALISIS KEKUATAN KOMPONEN *BASE CNC MICRO-MILLING*
BERBASIS KOMPOSIT BETON POLIMER DENGAN AGREGAT LIMBAH
GRANIT MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA
HASTO MURTI YUDHO RAHARJO**

ABSTRAK

Mesin *CNC micro-milling* menuntut pada tingkat kekakuan struktur dan stabilitas redaman getaran yang sangat tinggi untuk menjaga kepresisian dalam proses pemesinan pada skala mikro untuk mendapatkan hasil yang optimal. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi pada persentase kandungan agregat limbah granit terhadap karakteristik sifat mekanik komposit beton polimer serta menganalisis kekuatan dengan simulasi pada struktur *base* mesin *CNC micro-milling* dengan menggunakan Metode Elemen Hingga. Variasi persentase kandungan limbah granit yang diuji pada penelitian ini meliputi 65%, 70%, dan 75%. Pengujian sifat mekanik material dilakukan secara eksperimental dengan mengacu pada standar ASTM D638 untuk pengujian tarik dan standar ASTM C579 untuk pengujian tekan. Berdasarkan data pengujian, variasi kandungan limbah granit sebesar 75% terbukti menghasilkan performa mekanik paling optimal, dengan capaian rata-rata kekuatan tarik sebesar 15,94 N/mm², kekuatan tekan sebesar 37,89 N/mm², modulus elastisitas sebesar 0,86 GPa, kekuatan luluh sebesar 26,85 N/mm², serta massa jenis sebesar 1833 kg/m³. Selanjutnya, properti mekanik dari variasi terbaik tersebut diaplikasikan sebagai parameter material pada simulasi pembebanan statik sebesar 950 N terhadap tiga variasi desain pada tulangan *base* mesin menggunakan perangkat lunak Solidworks. Berdasarkan hasil analisis numerik, Variasi-3 terbukti sebagai desain *base* terbaik dan paling aman karena menghasilkan nilai tegangan maksimum terendah sebesar 2,191 N/mm², deformasi maksimum 1,302 mm, serta nilai *factor of safety* yang mencapai 6,893.

Kata Kunci : *Base* Mesin, *CNC Micro-Milling*, Beton Polimer, Limbah Granit, Metode Elemen Hingga

**STRENGTH ANALYSIS OF BASE CNC MICRO-MILLING MACHINE BASED
ON POLYMER CONCRETE COMPOSITE WITH GRANITE WASTE
AGGREGAT USING FINITE ELEMENT METHOD
HASTO MURTI YUDHO RAHARJO**

ABSTRACT

CNC micro-milling machines demand at a very high level of structural rigidity and vibration damping stability to maintain precision in the machining process on a micro-scale to obtain optimal results. This study aims to determine the effect of variations in the percentage of aggregate content of granite waste on the characteristics of the mechanical properties of polymer concrete composites and analyze the strength of the base structure of CNC micro-milling machines using the Finite Element Method. The variation in the percentage of granite waste content tested in this study included 65%, 70%, and 75%. Testing of the mechanical properties of materials is carried out experimentally with reference to the ASTM D638 standard for tensile testing and the ASTM C579 standard for pressure testing. Based on test data, the variation in granite waste content of 75% was proven to produce the most optimal mechanical performance, with an average tensile strength of 15.94 N/mm², compressive strength of 37.89 N/mm², modulus of elasticity of 0.86 GPa, yield strength of 26.85 N/mm², and density of 1833 kg/m³. Furthermore, the mechanical properties of the best variation were applied as material parameters in the simulation of static load of 950 N against three design variations on the machine's base reinforcement using Solidworks software. Based on the results of numerical analysis, Variation-3 is proven to be the best and safest base design because it produces the lowest maximum voltage value of 2,191 N/mm², maximum deformation of 1,302 mm, and a factor of safety value of 6,893.

Keywords: *Machine Base, CNC Micro-Milling, Polymer Concrete, Granite Waste, Finite Element Method.*

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	0
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI	ii
SURAT KETERANGAN HASIL UJI TURNITIN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB.....	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu.....	6
2.2 Mesin <i>CNC Micro-Milling</i>	9
2.2.1 Komponen <i>Base</i> Mesin <i>CNC Micro-Milling</i>	10
2.3 Komposit Beton Polimer.....	11
2.3.1 Matriks Resin Epoksi	12
2.3.2 Agregat Limbah Granit	12
2.3.3 Kalsium Karbonat (CaCO_3) Sebagai <i>Filler</i>	13
2.3.4 Keunggulan Beton Polimer untuk Struktur Mesin.....	14
2.4 Pengujian Sifat Mekanik Material	15
2.4.1 Uji Tarik	15
2.4.2 Uji Tekan	16
2.5 Dasar Analisis Struktur <i>Base</i> Mesin <i>Micro-Milling</i>	18
2.5.1 Beban.....	18
2.5.2 Tegangan, Regangan, dan Deformasi.....	19
2.5.3 Faktor Keamanan	20
2.6 Metode Elemen Hingga	21
2.6.1 Tahapan Proses Analisis Elemen Hingga	22

2.7 Perangkat Simulasi.....	23
2.7.1 <i>Solidworks</i>	23
2.7.2 <i>Independent of Mesh</i>	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Diagram Alir Penelitian	25
3.2 Prosedur Penelitian	27
3.3 Komponen <i>Base</i> Mesin <i>CNC Micro-Milling</i>	27
3.3.1 Dimensi Komponen	27
3.3.2 Pembebanan Statis pada Struktur <i>Base</i>	28
3.4 Pembuatan Spesimen	28
3.4.1 Spesimen Uji Tarik.....	29
3.4.2 Spesimen Uji Tekan	31
3.5 Pengujian Sifat Mekanis	32
3.6 <i>Input Geometry</i>	32
3.7 <i>Input</i> Spesifikasi Material	33
3.8 Parameter Analisis.....	33
3.8.1 Batas Tumpuan.....	33
3.8.2 Besar dan Arah Gaya Tekan	34
3.9 Analisis Hasil Simulasi	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Pendahuluan	36
4.2 Hasil Pengujian Tarik.....	36
4.2.1 Spesimen Uji Tarik Komposit Limbah Granit untuk Kandungan 65%....	36
4.2.2 Spesimen Uji Tarik Komposit Limbah Granit untuk Kandungan 70%....	38
4.2.3 Spesimen Uji Tarik Komposit Limbah Granit untuk Kandungan 75%....	39
4.3 Hasil Pengujian Tekan.....	41
4.3.1 Spesimen Uji Tekan Komposit Limbah Granit Untuk Kandungan 65% .	41
4.3.2 Spesimen Uji Tekan Komposit Limbah Granit Untuk Kandungan 70% .	43
4.3.3 Spesimen Uji Tekan Komposit Limbah Granit Untuk Kandungan 75% .	45
4.4 <i>Input</i> Material.....	46
4.5 Pemodelan Desain <i>Base</i> Mesin <i>CNC Micro-Miling</i>	48
4.5.1 Geometri <i>Base</i> Variasi ke-1.....	48
4.5.2 Geometri <i>Base</i> Variasi ke-2.....	48
4.5.3 Geometri <i>Base</i> Variasi ke-3.....	49
4.6 Analisis Hasil Simulasi	50
4.6.1 <i>Independent of Mesh</i>	50
4.6.2 Analisis Geometri.....	52
4.6.3 Tegangan	54
4.6.4 Deformasi.....	55
4.6.5 Regangan.....	57
4.6.6 <i>Factor of Safety</i>	59
BAB V PENUTUP.....	62
5.1 Kesimpulan	62

5.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN.....	67



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu.....	6
Tabel 2.2 Kovergensi Meshing(Hendra et al., 2023)	24
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Tarik Kandungan 65%.....	36
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Tarik Kandungan 70%.....	38
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Tarik Kandungan 75%.....	40
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Tekan Kandungan 65%	41
Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Tekan Kandungan 70%	43
Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Tekan Kandungan 75%	45
Tabel 4.7 Data Rata-Rata Hasil Pengujian Sifat Mekanik	46
Tabel 4.8 Material Properties Komposit Beton Polimer Agregat Limbah Granit.....	47
Tabel 4.9 Independent of mesh variasi-1	50
Tabel 4.10 Independent of mesh variasi-2	51
Tabel 4.11 Independent of mesh variasi-3.....	52
Tabel 4.12 Properties base variasi-1.....	53
Tabel 4.13 Properties base variasi-2.....	53
Tabel 4.14 Properties base variasi-3.....	53
Tabel 4.15 Tegangan base variasi-1	54
Tabel 4.16 Tegangan base variasi-2	54
Tabel 4.17 Tegangan base variasi-3	55
Tabel 4.18 Hasil analisis tegangan maksimum	55
Tabel 4.19 Deformasi base variasi-1	56
Tabel 4.20 Deformasi base variasi-2	56
Tabel 4.21 Deformasi base variasi-3	57
Tabel 4.22 Hasil analisis deformasi maksimum.....	57
Tabel 4.23 Regangan base variasi-1	58
Tabel 4.24 Regangan base variasi-2.....	58
Tabel 4.25 Regangan base variasi-3.....	58
Tabel 4.26 Hasil analisis deformasi maksimum.....	59
Tabel 4.27 Factor of safety base variasi-1.....	59
Tabel 4.28 Factor of safety base variasi-2.....	60
Tabel 4.29 Factor of safety base variasi-3.....	60
Tabel 4.30 Hasil analisis factor of safety	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mesin CNC Micro-Milling Industri (a)Kern micro; (b)Sodick AZ150; (c)Fraunhofer IPT Minimill; (d)Makino Hyper2J; (e)Kuglar MicroMaster MM2; (f)Fanuc ROBOnano; (g)Precitech freeform 700 Ultra; (h)Moore Nanotech 350FG . 9	
Gambar 2.2 Struktur Mesin CNC Micro-Milling	10
Gambar 2.3 Komposit Beton Polimer.....	11
Gambar 2.4 Resin Epoksi.....	12
Gambar 2.5 Limbah Granit	13
Gambar 2.6 Kalsium Karbonat	13
Gambar 2.7 Struktur Komponen Base	14
Gambar 2.8 Pengujian Kekuatan Tarik	16
Gambar 2. 9 Kurva Tegangan-Regangan	16
Gambar 2.10 Pengujian Kekuatan Tekan.....	17
Gambar 2.11 Grafik Kekuatan Tekan.....	17
Gambar 2.12 Beban Terpusat	18
Gambar 2.13 Beban Terdistribusi.....	19
Gambar 2.14 Beban Momen	19
Gambar 2.15 Visualisasi Distribusi Tegangan	22
Gambar 2.16 Solidworks.....	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
Gambar 3.2 Spesimen Uji Tarik ASTM D638-Type1	29
Gambar 3.3 Desain Base Mesin CNC Micro-Milling.....	32
Gambar 3.4 Posisi Fixed Support.....	34
Gambar 3.5 Arah dan Area yang Menerima Tekanan pada Base.....	34
Gambar 4.1 Spesimen Uji Tarik Kandungan Agregat 65%	37
Gambar 4.2 Permukaan Patahan Spesimen 65% No.3	37
Gambar 4.3 Spesimen Uji Tarik Kandungan Agregat 70%	39
Gambar 4.4 Permukaan Patahan Spesimen 70% No.3	39
Gambar 4.5 Spesimen Uji Tarik Kandungan Agregat 75%	40
Gambar 4.6 Permukaan Patahan Spesimen 75% No.3	41
Gambar 4.7 Spesimen Uji Tekan Kandungan Agregat 65%	43
Gambar 4.8 Spesimen Uji Tekan Kandungan Agregat 70%	44
Gambar 4.9 Spesimen Uji Tekan Kandungan Agregat 75%	46
Gambar 4.10 Line Chart Kekuatan Sifat Mekanik Beton Polimer Limbah Granit....	47
Gambar 4.11 Geometri Variasi-1.....	48
Gambar 4.12 Tulangan Variasi-1.....	48
Gambar 4.13 Geometri Variasi-2	48
Gambar 4.14 Tulangan Variasi-2.....	49
Gambar 4.15 Geometri Variasi-3	49
Gambar 4.16 Tulangan Variasi-3.....	49

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Grafik Uji Tarik
- Lampiran 2. Grafik Uji Tekan
- Lampiran 3. Bukti Bimbingan Tugas Akhir
- Lampiran 4. Curriculum Vitae

