



**PERANCANGAN *FRAME WIRE ARC ADDITIVE*
MANUFACTURING 3 AXIS MENGGUNAKAN METODE VDI
2221**



**TUGAS AKHIR
SKRIPSI**

**UNIVERSITAS
MUHAMAD RIFA'I
41324110040
MERCU BUANA**

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



**PERANCANGAN *FRAME WIRE ARC ADDITIVE*
MANUFACTURING 3 AXIS MENGGUNAKAN METODE VDI
2221**

**TUGAS AKHIR
SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

**MUHAMAD RIFA'I
41324110040**

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

HALAMAN PENYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhamad Rifa'i
NIM : 41324110040
Fakultas/Program Studi : Teknik / Teknik Mesin

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tugas Akhir berjudul:

“ Perancangan *Frame Wire Arc Additive Manufacturing 3 Axis* Menggunakan Metode VDI 2221”

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, 15 Agustus 2026



Muhamad Rifai

SURAT KETERANGAN HASIL *SIMILARITY*

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

Nama : **Muhamad Rifa'i**
NIM : **41324110040**
Program Studi : **Teknik Mesin**
Judul Tugas Akhir / Tesis
/ Praktek Keinsinyuran : **PERANCANGAN FRAME WIRE ARC ADDITIVE
MANUFACTURING 3 AXIS MENGGUNAKAN
METODE VDI 2221**

Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada **Kamis, 20 Agustus 2026** dengan hasil presentase sebesar **24 %** 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, 20 Agustus 2026

Administrator Turnitin,



Itmam Haidi Syarif

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhamad Rifa'i
NIM : 41324110040
Fakultas/Program Studi : Teknik / Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Perancangan *Frame Wire Arc Additive Manufacturing 3 Axis* Menggunakan Metode VDI 2221

Telah berhasil dipertahankan pada sidang tanggal 13 Agustus 2026 dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Msin, Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:

Pembimbing

Muhamad Fitri, M.Si., Ph.D.,
NIDN/NUPTK: 1013126901

MERCU BUANA

Jakarta, 15 Agustus 2026

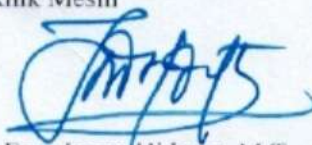
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.,
NIDN/NUPTK: 0307037202

Ketua Program Studi
Teknik Mesin



Dr. Eng. Imam Hidayat, M.T.
NIDN/NUPTK: 005087502

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul " Perancangan *Frame Wire Arc Additive Manufacturing 3 Axis* Menggunakan Metode VDI 2221". Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak akan terselesaikan dengan baik tanpa adanya bantuan, bimbingan, dukungan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng., selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
3. Dr. Eng. Imam Hidayat, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
4. Muhamad Fitri, M.Si., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, memberikan arahan, bimbingan, motivasi, serta masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Kedua orang tua tercinta Akwan dan Siti Ngaisah yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan moral maupun material, serta motivasi yang tiada henti kepada penulis.
6. Istri saya Herlinda Mawarni, S.Kom., yang telah memberikan semangat doa dan motivasi, selama masa perkuliahan hingga penyusunan Tugas Akhir.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang Teknik Mesin, serta dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

Jakarta, 13 Agustus 2026



Muhamad Rifa'i

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB**

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

Nama : Muhamad Rifa'i
NIM : 41324110040
Fakultas/Program Studi : Teknik / Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Perancangan *Frame Wire Arc Additive Manufacturing 3 Axis* Menggunakan Metode VDI 2221

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.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 15 Agustus 2026

Yang menyatakan,



(Muhamad Rifa'i)

PERANCANGAN *FRAME WIRE ARC ADDITIVE*
***MANUFACTURING 3 AXIS* MENGGUNAKAN METODE**
VDI 2221
MUHAMAD RIFA'I

ABSTRAK

Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) merupakan teknologi manufaktur aditif logam yang memanfaatkan pengelasan busur listrik untuk mencetak komponen secara bertahap (*layer by layer*). Saat ini, sistem WAAM di industri masih didominasi oleh penggunaan lengan robotik (*robotic arm*). Penggunaan sistem ini menuntut biaya investasi dan perawatan yang sangat tinggi, sehingga dinilai kurang ekonomis jika diaplikasikan untuk skala riset dan fasilitas laboratorium pendidikan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang mekanisme gerak tiga sumbu (3-axis) serta menganalisis kekuatan struktur rangka mesin WAAM berbasis *Gas Metal Arc Welding* (GMAW). Proses perancangan dilakukan secara sistematis mengacu pada metode standar VDI 2221, yang meliputi tahapan klarifikasi tugas, perancangan konsep, perancangan wujud, hingga perancangan detail. Evaluasi kekuatan struktur rangka divalidasi menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) melalui perangkat lunak Inventor. Berdasarkan proses seleksi matriks keputusan, varian ketiga (Varian 3) terpilih sebagai alternatif desain paling optimal dengan perolehan nilai *Overall Value Weighted* (OVW) tertinggi sebesar 8,08. Hasil simulasi pembebanan statis membuktikan bahwa rancangan rangka mampu menahan beban terpusat sebesar 210,915 N. Tegangan Von Mises maksimum tercatat sebesar 66,13 MPa, dengan deformasi (*displacement*) maksimal senilai 0.04061 mm, serta parameter *Safety Factor* yang berada di atas batas aman material yang direkomendasikan. Rangkaian hasil analisis ini mengonfirmasi bahwa struktur rangka usulan memiliki integritas mekanik, nilai kekakuan, dan standar keamanan yang memadai untuk menopang seluruh beban instalasi WAAM. Kesimpulannya, desain rangka *box cartesian 3-Axis* ini terbukti layak secara struktural dan ekonomis untuk direalisasikan sebagai alternatif mesin pendukung kegiatan penelitian dan pendidikan.

Kata Kunci: WAAM, 3-axis, VDI 2221, FEA.

**DESIGN OF A 3-AXIS WIRE ARC ADDITIVE MANUFACTURING FRAME
USING THE VDI 2221 METHOD
MUHAMAD RIFA'I**

ABSTRACT

Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) is a metal additive manufacturing technology that utilizes electric arc welding to print components gradually (layer by layer). Currently, industrial WAAM systems are still dominated by the use of robotic arms. The use of this system demands very high investment and maintenance costs, rendering it less economical to be applied for research-scale and educational laboratory facilities. Therefore, this study aims to design a three-axis (3-axis) motion mechanism and analyze the structural strength of a Gas Metal Arc Welding (GMAW)-based WAAM machine frame. The design process was conducted systematically referring to the standard VDI 2221 method, which includes the stages of task clarification, conceptual design, embodiment design, and detail design. The evaluation of the frame's structural strength was validated using the Finite Element Analysis (FEA) method through Inventor software. Based on the decision matrix selection process, the third variant (Variant 3) was selected as the most optimal design alternative, obtaining the highest Overall Value Weighted (OVW) score of 8.08. The static loading simulation results proved that the frame design is capable of withstanding a concentrated load of 210.915 N. The maximum Von Mises stress was recorded at 66.13 MPa, with a maximum deformation (displacement) of 0.04061 mm, and a Safety Factor parameter that is above the recommended safe limit of the material. This series of analysis results confirms that the proposed frame structure possesses adequate mechanical integrity, stiffness, and safety standards to support the entire WAAM installation load. In conclusion, this 3-Axis Cartesian box frame design is proven to be structurally and economically feasible to be realized as an alternative machine supporting research and educational activities.

Keywords: *WAAM, 3-axis, VDI 2221, FEA.*

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	0
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENYATAAN KARYA SENDIRI	ii
HALAMAN SURAT KETERANGAN HASIL UJI TURNITIN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 <i>Research Gap</i> dan Posisi Penelitian	10
2.3 <i>Additive Manufacturing</i> Logam	10
2.4 <i>Wire Arc Additive Manufacturing</i> (WAAM)	11
2.5 Proses <i>Gas Metal Arc Welding</i> (GMAW) dalam WAAM	11
2.6 Sistem Gerak pada WAAM	11
2.7 Sistem Gerak tiga Sumbu (<i>3-Axis Motion System</i>)	11

ix

2.8	Metode VDI 2221	12
2.9	Metode Perancangan	15
2.10	Autodesk Inventor	16
2.11	<i>Finite Element Analysis</i>	16
2.13	Dasar Perhitungan Struktur	17
2.14	Material Rangka Mesin	20
BAB III METODOLOGI		22
3.1	Diagram Alir Penelitian	22
3.2	Metode Penelitian	23
3.3	Studi Literatur	23
3.4	<i>Design Requirements</i>	23
3.5	Penentuan Konsep	24
3.5.1	Alternatif dan Fungsi Utama	25
3.5.2	Analisis Hasil Kuesioner Pemilihan Prinsip Solusi	26
3.5.3	Pemilihan Variasi	29
3.5.4	Evaluasi Variasi	31
3.5.5	Penentuan Tingkat Kepentingan dan Bobot Kriteria (W_i)	31
3.5.6	Penetapan Parameter Penilaian (V_i)	32
3.5.7	Evaluasi Varian 1	38
3.5.8	Evaluasi Varian 2	39
3.5.9	Evaluasi Varian 3	41
3.6	Alat	43
3.7	Parameter Simulasi	44
BAB IV		45
4.1	Hasil Evaluasi Varian	45
4.2	Perancangan Detail Rangka	46
4.2.1	Desain Akhir Rangka	46
4.3	Perhitungan Awal Struktur	47
4.3.1	Estimasi Beban Total	48
4.3.2	Parameter Material dan Dimensi	49

4.3.3	Diagram Benda Bebas (DBB)	50
4.3.4	Pembebanan dan Reaksi Tumpuan	50
4.3.5	Perhitungan Momen Lentur Maksimal (M_{max})	51
4.3.6	Perhitungan Momen Inersia Penampang (I)	51
4.3.7	Tegangan Lentur Maksimal (σ_{max})	51
4.4	Analisis Struktur Menggunakan <i>Finite Element Analysis</i> (FEA)	52
4.4.1	Kondisi Simulasi	53
4.4.2	Analisis Tegangan <i>Von Mises</i>	53
4.4.3	Analisis <i>Displacement</i>	54
4.4.4	Analisis <i>Safety Factor</i>	55
4.5	Pembahasan Hasil	56
4.6	Pembahasan Hasil Perancangan Berdasarkan <i>Design Requirements</i>	57
BAB V		59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	59
DAFTAR PUSTAKA		61
LAMPIRAN		63

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	6
Tabel 3. 1 Design Requirements	24
Tabel 3. 2 Alternatif dan fungsi utama	26
Tabel 3. 3 Hasil variasi kombinasi	30
Tabel 3. 4 Pemilihan variasi Solusi	30
Tabel 3. 5 Penentuan Tingkat Kepentingan dan Bobot Kriteria (W_i)	32
Tabel 3. 6 Rubrik Acuan Pemberian Nilai Keamanan	33
Tabel 3. 7 Rubrik Acuan Pemberian Nilai Material	34
Tabel 3. 8 Rubrik Acuan Pemberian Nilai Konstruksi	34
Tabel 3. 9 Rubrik Acuan Pemberian Nilai Perakitan	35
Tabel 3. 10 Rubrik Acuan Pemberian Nilai Perawatan	36
Tabel 3. 11 Rubrik Acuan Pemberian Nilai Dimensi	36
Tabel 3. 12 Rubrik Acuan Pemberian Nilai Biaya Produksi	37
Tabel 3. 13 Varian evaluasi 1	39
Tabel 3. 14 evaluasi varian 2	41
Tabel 3. 15 Ealuasi varian 3	42
Tabel 3. 16 Parameter Simulasi	44
Tabel 4. 1 Hasil Rekapitulasi Evaluasi Variasi	45
Tabel 4. 2 Perbandingan Variasi Berdasarkan Nilai OVW	46
Tabel 4. 3 Estimasi Beban Komponen	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 diagram alir penelitian	22
Gambar 3. 2 Konsep kerja mesin WAAM	25
Gambar 3. 3 Grafik Persentase Pemilihan Konfigurasi Rangka	27
Gambar 3. 4 Grafik Persentase Pemilihan Material Rangka	27
Gambar 3. 5 Grafik Persentase Pemilihan Sambungan Struktur	28
Gambar 3. 6 Grafik Persentase Pemilihan Penopang Kaki	29
Gambar 3. 7 Grafik Persentase Pemilihan Dudukan Komponen	29
Gambar 3. 8 Varian 1	38
Gambar 3. 9 Varian 2	40
Gambar 3. 10 Varian 3	42
Gambar 3. 11 Software Inventor	43
Gambar 4. 1 Detail Rancangan mesin WAAM	47
Gambar 4. 2 Area kritis pada rangka	48
Gambar 4. 3 DBB Frame Sumbu X	50
Gambar 4. 4 Distribusi Tegangan Von Mises	54
Gambar 4. 5 Distribusi Displacement	54
Gambar 4. 6 Safety Factor	55

UNIVERSITAS
MERCU BUANA