

***REVERSE ENGINEERING: PERANCANGAN ULANG BASEFRAME
DAN ARM BRACKET PANTOGRAF KERETA REL LISTRIK***

(Studi Kasus: Divisi Riset dan Pengembangan, PT. Industri Kereta Api, Madiun)

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta

untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.)



NIM : 22106060048

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

2026

LEMBAR PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1169/Un.02/DST/PP.00.9/06/2026

Tugas Akhir dengan judul : Reverse Engineering : Perancangan Ulang Baseframe dan Arm Bracket Pantograf Kereta Rel Listrik (Studi Kasus : Divisi Riset dan Pengembangan, PT. Industri Kereta Api, Madiun)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : ABDURRASYID MUSYAFFA
Nomor Induk Mahasiswa : 22106060048
Telah diujikan pada : Senin, 25 Mei 2026
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Ir. Khusna Dwijayanti, ST., M.Eng., Ph.D, ASEAN Eng.
SIGNED

Valid ID: 6a16a834271e2



Penguji I

Dr. Ir. Yandra Rahadian Perdana, ST., MT
SIGNED

Valid ID: 6a1f87e2578c



Penguji II

Ir. Trio Yonathan Teja Kusuma, S.T., M.T.,
IPM., ASEAN Eng
SIGNED

Valid ID: 6a2067e3e9e4



Yogyakarta, 25 Mei 2026

UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Kharul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6a21372eaaf8b

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Surat Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UTN Sunan Kalijaga

Di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr wb

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi saudara:

Nama : Abdurrasyid Musyaffa

NIM : 22106060048

Judul Skripsi : Pengembangan Baseframe Dan Arm Bracket Pantograf Kereta Rel Listrik Menggunakan Quality Function Deployment (Studi Kasus: Divisi Riset dan Pengembangan, PT. Industri Kereta Api, Madiun)

Sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Teknik Industri Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Teknik Industri.

Dengan ini kami mengharapkan agar skripsi/tugas akhir saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr wb

Yogyakarta, 18 Mei 2026

Pembimbing,

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Ir. Khusna Dwijayanti, S.T., M.Eng., Ph.D, ASEAN Eng.

NIP. 19851212 201903 2 018

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Abdurrasyid Musyaffa
NIM : 22106060048
Program Studi : Teknik Industri
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul: „*Reverse Engineering* : Perancangan Ulang *Baseframe* dan *Arm Bracket* Pantograf Kereta Rel Listrik (Studi Kasus: Divisi Riset dan Pengembangan, PT. Industri Kereta Api, Madiun)“ adalah hasil karya pribadi dan sepanjang pengetahuan penyusun tidak berisi materi yang dipublikasikan atau ditulis orang lain, kecuali bagian-bagian tertentu yang penyusun ambil sebagai acuan.

Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, maka sepenuhnya menjadi tanggungjawab penyusun.

Kota Yogyakarta, Tanggal 03 Juni 2026

Yang menyatakan,



Abdurrasyid Musyaffa
NIM 22106060048

MOTTO

“Jadilah seperti pohon kayu yang lebat buahnya, tumbuh di tepi jalan. Dilempar buahnya dengan batu, tetapi tetap dibalas dengan buah.”

(Khalifah Abu Bakar Ash-Shidiq)

“The heart of engineering is not calculation but, it is problem solving.

Jantung dari keteknikan bukanlah perhitungan akan tetapi, penyelesaian masalah”

(Prasanti Widyasih Sarli, Dosen Statika Teknik Sipil ITB)

Telah kusadar hidup bukanlah, Perihal mengambil yang kau tebar

Sedikit air yang kupunya, Milikmu juga bersama

(Hindia ft. Rara Sekar – Membasuh)



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur dan kerendahan hati, penulis mempersembahkan skripsi ini sebagai wujud tanggung jawab terhadap amanah ilmu yang diberikan melalui pendidikan yang telah ditempuh selama kurang lebih 4 tahun. Karya ini tidak akan terwujud tanpa do'a dan dukungan dari pihak yang memberi makna luar biasa dalam hidup penulis. Oleh sebab itu penulis berterima kasih kepada.

1. Ibu Ir. Khusna Dwijayanti, S.T., M.Eng., Ph.D, ASEAN Eng, selaku Dosen Pembimbing.
2. Bapak Prof. Noorhadi, M.A., M.Phil., Ph.D., selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Herninanjati Paramawardhani, M.Sc. selaku Kepala Program Studi Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga.
4. Keluarga Tercinta Ibu Dr. Fida Chasanatun S.Pd., M. Pd, Bapak Misbachul Munir, Mas Kholish, Mbak Desi, Mbak Nisa, Mas Zaki, Mas Hilmi, Dek Dina, Alm Bude Atun, Mbak Mila, Mas Dwi dan Mbak Fira.
5. Akan Selalu dikenang dan dicinta, keluarga Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga Angkatan 2022 RAJENDRA "Gayeng poll". Nur Khodhori Mahesa Ananta, Intan Ranni Kurnia Sari, Leni Rahmawati, Ikhsan Arya Pamungkas, Alif Alimudin, Valentina Aprilia Vanesia, Jamaludin, Aulia Nur Khasanah, Melani Dwi Fatimah, Nindya Dita Pratiwi, Nasywa Talitha Putri Guritno Rosyadi, Zakiyatul Chaririyah, Viqra Engfita Wahyuni, Fazlur Rahman Munir, Khilya Nur Khadzlaqoh, Ibra Alamsyah, Muhammad Haris Wahyudi, Al Hazmi Fakhrul Alim, Adi Putra, Nayla Adisti, Alfian Nur Ichsan, Evan Raditya Adyuta Amru, Fahmi Muharomi Dzikri, Unzhurna Asiyam, Nola

Dayinta Anindita, Dimas Alfandi, Manarul Akhsan, Shinta Rusdarwati, Ismi Erlinda, Mohamad Robi' Farodys, R. Rully Mahendra, Khoirul Iqbal, Maulid Fajar Nugroho, Hadi Nur Rofik, Bima Sugeng Pratama, Febri Dwi Hariyani, Muhammad Solihin, Sophia Carolina Shani, Nabila Safana Wulandari, Yazid Nur Athalah, Abdurrahman Rasyid, Akhmad Rofiq Rosyidi, Mohammad Shahrul Ardiansyah, Dani Darmawan, Muhammad Sigit Darmawan, Ahmad Ghozali Rifani, Abdurrasyid Musyaffa, Bilqis Ayu Binuril, Zahra Aulia Aqza, Abdurrahman Labib, Mutiara Rizka Dian Amalia, Anugrah Dwi Septian, Muhammad Fadhli Zahru Samawi, Novita Ramadhani, Faikur Rohman, Kafa Asyiradinta, Muhammad Imam Dwiyanasyah, Rahman Hidayat, Akhmad Fadhil, Nafa Elifah Khairunnisa, Raihan Ardani, Alfinatul Aisyah, Muhammad Hakim, Rafifah Amalia, Anyelir Nurahmaida Nanda Styo, Endrian Yuli Nur Rahman, Muhammad Naufal Daffa Satria, Nabil Miftahul Huda, Qurrota Ayun Dhia Sari, Molla Putri Pradipta, Ahmad Latif Aulia Rahman, Ahmad Angga Yudha, Hilman Najib Pratama, Moh. Manarul Hidayat, Ahmad Muzadi, Khairul Rafi, Tegar Oktavian Nur Huda, Nisrina Indy Saqifa, Naufal Al-Haq, Firman Eka Cahyadi, Firman Hady, Ayu Afrilia Nurhalizah, Ismi Maulfi Rahma, Aulia Rahma Kusumaningtyas, Rafli Tohari.

6. Aliansi biru, Kabinet Manggala Adikarya, Darsa Prasasya dan Adiwangsa Laksana, Kastrarisasi 2023, Kastrarisasi 2024, BPH dan Kadept HMTI 2025, KKN Konversi Singosaren, Alphabet, Kontrakan Koprak Merdeka, Kontrakan Racink dan seluruh pihak yang sudah membersamai selama proses pelaksanaan.

7. PT. Industri Kereta Api (INKA) yang telah mengizinkan penulis untuk penelitian.
8. Dan terakhir, terima kasih kepada diri ini. Terima kasih karena telah percaya pada diri ini dan menyelesaikan lembaran ini. Terima kasih atas seluruh kerja kerasnya, terima kasih karena tidak menyerah dan tetap memberi lebih dari yang didapatkan. Terima kasih karena terus berusaha melakukan hal yang benar daripada yang salah. Terima kasih karena telah menjadi pribadi ini di setiap detiknya.



KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini dengan tepat waktu. Penelitian dengan judul “*Reverse Engineering: Perancangan Ulang Baseframe Dan Arm Bracket Pantograf Kereta Rel Listrik (Studi Kasus: Divisi Riset dan Pengembangan, PT. Industri Kereta Api, Madiun)*” bertujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan program sarjana Teknik Industri di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Tugas akhir ini diharapkan dapat bermanfaat untuk menambah wawasan pengetahuan pembaca guna memahami dan mengetahui analisis mengenai perbaikan desain menggunakan metode QFD. Dalam penyusunan tugas akhir, penulis menyadari masih terdapat kekurangan yang perlu diperbaiki. Maka dari itu, penulis memohon maaf serta menerima masukan baik saran maupun kritik untuk menjadikan tugas akhir ini lebih baik dari sebelumnya.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 01 Juni 2026

Abdurrasyid Musyaffa
22106060048

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI	ii
SURAT PERYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
ABSTRAK	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Pertanyaan Penelitian	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
1.5. Batasan Penelitian	6
1.6. Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Penelitian Terdahulu	7
2.2. Landasan Teori.....	13
2.2.1. Kereta Rel Listrik (KRL)	13
2.2.2. Sistem Propulsi Kereta Rel Listrik.....	14
2.2.3. <i>Pantograph</i>	14
2.2.4. Pengembangan Produk	16
2.2.5. <i>Non-Functional Requirement Analysis</i> (NFRA)	17
2.2.6. <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP).....	17
2.2.7. <i>Quality Function Deployment</i> (QFD)	20
2.2.8. <i>Industrial Design</i>	23
2.2.9. SolidWorks.....	24
2.2.10. <i>Safety Factor</i>	25

2.2.11. <i>Stress, Strain dan Deformation</i>	26
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1. Objek Penelitian	27
3.2. Metode Pengumpulan Data	28
3.3. Variabel Penelitian	30
3.3.1. Variabel Uji	30
3.3.2. Variabel Batasan Uji	31
3.3.3. Variabel Satuan Uji	31
3.4. Model Analisis	32
3.5. Diagram Alir Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1. Gambaran Umum Proses Produksi	36
4.2. Pengumpulan Data	37
4.2.1. Data NFRA	37
4.2.2. Data Kuesioner AHP	40
4.2.3. Data Hubungan <i>Customer Requirement</i> dan <i>Technical Requirement</i>	44
4.2.4. Desain 3D Produk	47
4.2.5. Data Spesifikasi Material	49
4.3. Pengolahan Data.....	52
4.3.1. Perhitungan Pembobotan AHP.....	52
4.3.2. Perhitungan Hubungan <i>Technical Requirement</i>	53
4.3.3. HOQ	55
4.3.4. Pengujian Komponen	57
4.3.5. Perbandingan Hasil Pengujian Komponen.....	68
4.4. Pembahasan	75
4.5. Implikasi Manajerial	76
BAB V PENUTUP	77
5.1. Kesimpulan.....	77
5.2. Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Produk Pantograf.....	3
Gambar 2. 1. <i>Single Arm</i> Pantograf	15
Gambar 2. 2 Skema Kelistrikan Krl.....	16
Gambar 2. 3. <i>Framework</i> QFD	21
Gambar 2. 4. <i>House Of Quality 9-Steps Model</i>	22
Gambar 3. 1. Detail Komponen Objek Penelitian.....	27
Gambar 3. 2. <i>Framework</i> QFD	32
Gambar 3. 3. <i>Framework</i> Adaptasi Desain	33
Gambar 3. 4. Diagram Alir Penelitian.....	34
Gambar 4. 1 <i>Lower Arm Bracket</i>	47
Gambar 4. 2 <i>Baseframe</i>	48
Gambar 4. 3 <i>Upper Arm Bracket</i>	49
Gambar 4. 4. Hoq	56
Gambar 4. 5. Arah Gaya Pengujian Tekanan	58
Gambar 4. 6. Hasil Pengujian Tekan Material S355jr.....	59
Gambar 4. 7. Arah Gaya Pembebanan <i>Bearing</i> Komponen <i>Baseframe</i>	59
Gambar 4. 8. Hasil Pengujian Pembebanan <i>Bearing Baseframe</i> S275JR.....	60
Gambar 4. 9. Arah Gaya Pembebanan <i>Bearing Upper Arm</i>	61
Gambar 4. 10. Hasil Pengujian Pembebanan <i>Bearing Upper Arm</i> S275JR.....	62
Gambar 4. 11. Arah Gaya Pengujian Getaran	63
Gambar 4. 12. Hasil Pengujian Getaran S235JR	64
Gambar 4. 13. Permukaan Uji Suhu Pada <i>Baseframe</i>	64
Gambar 4. 14. Hasil Pengujian Suhu Komponen <i>Baseframe</i>	66
Gambar 4. 15. Permukaan Uji Suhu Pada <i>Upper Arm Bracket</i>	66
Gambar 4. 16. Hasil Pengujian Ketahanan Suhu <i>Upper Arm Bracket</i>	67
Gambar 4. 17. Matriks Pengujian Tekanan Deformasi	68
Gambar 4. 18. Matriks Pengujian Tekanan <i>Safety Factor</i>	69
Gambar 4. 19. Matriks Pembebanan <i>Bearing</i> Deformasi <i>Baseframe</i>	70
Gambar 4. 20. Matriks Pembebanan <i>Bearing Safety Factor Baseframe</i>	70
Gambar 4. 21. Matriks Pembebanan <i>Bearing</i> Deformasi <i>Upper Arm</i>	71
Gambar 4. 22. Matriks Pembebanan <i>Bearing</i> Deformasi <i>Upper Arm</i>	72

Gambar 4. 23. Matriks Pengujian Getaran.....	73
Gambar 4. 24. Matriks Pengujian Suhu <i>Baseframe</i>	74
Gambar 4. 25. Matriks Pengujian Suhu <i>Upper Arm Bracket</i>	75



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Penelitian Terdahulu.....	7
Tabel 2. 2. Spesifikasi <i>Single Arm</i> Pantograf ToyoDenki	15
Tabel 4. 1 Proses <i>Assembly</i> Pantograf.....	36
Tabel 4. 2 Sumber NFRA.....	37
Tabel 4. 3 Spesifikasi Detail.....	40
Tabel 4. 4 Daftar Pertanyaan Kuesioner AHP.....	41
Tabel 4. 5 Jawaban Pertanyaan Kuesioner AHP	43
Tabel 4. 6 Hubungan <i>Customer Requirement</i> dan <i>Technical Requirement</i>	44
Tabel 4. 7. Spesifikasi S275JR.....	50
Tabel 4. 8. Spesifikasi S235JR.....	51
Tabel 4. 9. Spesifikasi S355JR.....	51
Tabel 4. 10. Hasil Perhitungan Kuesioner AHP	53
Tabel 4. 11. Perhitungan Hubungan <i>Technical Requirement</i>	54
Tabel 4. 12. Deskripsi Kode Tabel <i>Technical Requirement</i>	54
Tabel 4. 13 Hasil Deformasi dan <i>Safety Factor</i> Uji Tekan	58
Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Pembebanan <i>Bearing</i> Komponen <i>Baseframe</i>	60
Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Pembebanan <i>Bearing Upper Arm</i>	61
Tabel 4. 16. Hasil Pengujian Getaran Komponen	63
Tabel 4. 17. Hasil Pengujian Ketahanan Suhu <i>Baseframe</i>	65
Tabel 4. 18. Hasil Pengujian Ketahanan Suhu <i>Upper Arm Bracket</i>	67

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 KUESIONER	1
Lampiran 1.1 Pertanyaan dan Jawaban Kuesioner AHP	1
Lampiran 1.2 Pertanyaan dan Jawaban Kuesioner Hubungan.....	2
LAMPIRAN 2 HASIL PENGUJIAN	3
Lampiran 2.1 Pengujian Tekanan 1000 N/mm ²	3
Lampiran 2.2 Pengujian Tekanan 2000 N/mm ²	5
Lampiran 2.3 Pengujian Tekanan 3000 N/mm ²	7
Lampiran 2.4 Pengujian Tekanana 3500 N/mm ²	9
Lampiran 2.5 Pengujian Pembebanan <i>Bearing Baseframe</i> 1000 N/mm ²	11
Lampiran 2.6 Pengujian Pembebanan <i>Bearing Baseframe</i> 2000 N/mm ²	13
Lampiran 2.7 Pengujian Pembebanan <i>Bearing Baseframe</i> 3000 N/mm ²	15
Lampiran 2.8 Pengujian Pembebanan <i>Bearing Baseframe</i> 3500 N/mm ²	17
Lampiran 2.9 Pengujian Pembebanan <i>Bearing Upper Arm Bracket</i> 1000 N/mm ²	17
Lampiran 2.10 Pengujian Pembebanan <i>Bearing Upper Arm Bracket</i> 2000 N/mm ²	21
Lampiran 2.11 Pengujian Pembebanan <i>Bearing Upper Arm Bracket</i> 3000 N/mm ²	23
Lampiran 2.12 Pengujian Pembebanan <i>Bearing Upper Arm Bracket</i> 3500 N/mm ²	25
Lampiran 2.13 Pengujian Getaran 1000 N/mm ²	27
Lampiran 2.14 Pengujian Getaran 2000 N/mm ²	28
Lampiran 2.15 Pengujian Getaran 3000 N/mm ²	29
Lampiran 2.16 Pengujian Getaran 3500 N/mm ²	30
Lampiran 2.17 Pengujian Suhu <i>Baseframe</i> 15 °C.....	31
Lampiran 2.18 Pengujian Suhu <i>Baseframe</i> 18 °C.....	32
Lampiran 2.19 Pengujian Suhu <i>Baseframe</i> 20 °C.....	33
Lampiran 2.20 Pengujian Suhu <i>Baseframe</i> 100 °C.....	34
Lampiran 2.21 Pengujian Suhu <i>Baseframe</i> 150 °C.....	35
Lampiran 2.22 Pengujian Suhu <i>Baseframe</i> 200 °C.....	36
Lampiran 2.23 Pengujian Suhu <i>Upper Arm Bracket</i> 15 °C	37
Lampiran 2.24 Pengujian Suhu <i>Upper Arm Bracket</i> 18 °C	38

Lampiran 2.25 Pengujian Suhu <i>Upper Arm Bracket</i> 20 °C	39
Lampiran 2.26 Pengujian Suhu <i>Upper Arm Bracket</i> 100 °C	40
Lampiran 2.27 Pengujian Suhu <i>Upper Arm Bracket</i> 150 °C	41
Lampiran 2.28 Pengujian Suhu <i>Upper Arm Bracket</i> 200°C	42
LAMPIRAN 3 DOKUMENTASI	43



ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan ulang komponen *baseframe* dan *arm bracket* pada pantograf Kereta Rel Listrik (KRL) di PT. Industri Kereta Api (INKA). Permasalahan utama yang dikaji adalah kebutuhan untuk melakukan pelokalan produksi yang masih terkendala kesesuaian produk dengan standarisasi lisensi ToyoDenki. Metodologi yang digunakan mengintegrasikan metode *Non-Functional Requirement Analysis* (NFRA) untuk identifikasi karakteristik mekanis, *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk penentuan prioritas kriteria berdasarkan penilaian stakeholder, serta *Quality Function Deployment* (QFD) melalui penyusunan *House of Quality* (HoQ) sebagai kerangka dalam pengujian komponen. Spesifikasi komponen yang dihasilkan adalah ketahanan deformasi, ketahanan korosi, kekuatan sambungan las, ketahanan tegangan, ketahanan regangan, ketahanan suhu rendah dan suhu tinggi. Kebutuhan teknis yang dihasilkan pemilihan material, ukuran *weld bead*, pemberian cat korosi dan kesesuaian dimensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketahanan terhadap deformasi dan kekuatan sambungan las menjadi spesifikasi prioritas utama dan pemilihan material serta kesesuaian dimensi komponen sebagai kebutuhan teknis utama. Perancangan ulang komponen menghasilkan desain 3D menggunakan perangkat lunak SolidWorks untuk tiga komponen utama, yaitu *baseframe*, *lower arm bracket*, dan *upper arm bracket*, yang kemudian diuji dengan pembebanan statis, uji ketahanan suhu, dan uji getaran sesuai dengan kerangka pengujian. Berdasarkan simulasi tersebut, diidentifikasi tiga alternatif material baja struktural, yakni S235JR, S275JR, dan S355JR, di mana S355JR menunjukkan nilai *safety factor* terbaik untuk menahan tekanan. Kesimpulannya, integrasi metode QFD dan AHP yang digunakan untuk pembuatan kerangka pengujian mengarahkan proses uji komponen yang berlandaskan kebutuhan konsumen.

Kata Kunci: *AHP, Baseframe, HOQ, Lower arm bracket, NFRA, Upper arm bracket*

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

ABSTRACT

This study aims to re-engineer the baseframe and arm bracket components on the Electric Rail Train (KRL) pantograph at PT. Industri Kereta Api (INKA). The main problem studied is the need to localize production which is still hampered by product conformity with ToyoDenki licensing standards. The methodology used integrates the Non-Functional Requirement Analysis (NFRA) method for identifying mechanical characteristics, the Analytical Hierarchy Process (AHP) for determining criteria priorities based on stakeholder assessments, and Quality Function Deployment (QFD) through the preparation of the House of Quality (HoQ) as a framework for component testing. The resulting component specifications are deformation resistance, corrosion resistance, weld joint strength, stress resistance, strain resistance, low temperature resistance and high temperature resistance. The resulting technical requirements are material selection, weld beld size, application of corrosion paint and dimensional conformity. The results show that deformation resistance and weld joint strength are the main priority specifications and material selection and component dimensional conformity are the main technical requirements. The component redesign resulted in a 3D design using SolidWorks software for three main components, namely the baseframe, lower arm bracket, and upper arm bracket, which were then tested with static loading, temperature resistance tests, and vibration tests according to the test frame. Based on the simulation, three alternative structural steel materials were identified, namely S235JR, S275JR, and S355JR, where S355JR showed the best safety factor value for resisting pressure. In conclusion, the integration of the QFD and AHP methods used for the creation of the test frame directed the component testing process based on customer needs.

Keyword: AHP, Baseframe, HOQ, Lower arm bracket, NFRA, Upper arm bracket

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Dalam proses manufaktur dilakukan perubahan bentuk pada material atau bahan baku untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan dengan tujuan akhir produk siap guna seperti yang dikatakan oleh Serope Kalpakjian (2015) bahwa manufaktur berhubungan dengan pembuatan produk. Indonesia sendiri memiliki industri industri manufaktur yang tidak sedikit jumlahnya, data Badan Pusat Statistik (BPS) dalam Direktori Industri Manufaktur Indonesia 2023 terdapat 32.193 usaha atau perusahaan manufaktur di indonesia (Direktorat Diseminasi Statistik, 2023).

Salah satu industri manufaktur di indonesia yang berada dibawah Kementrian Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang dikelola oleh Daya Anagata Nusantara (Danantara) adalah PT. Industri Kereta Api (INKA) yang memproduksi kereta penumpang, kereta berpengerak, gerbong barang, dan kereta khusus sekaligus merupakan satu satunya perusahaan yang memproduksi kereta api di Asia Tenggara. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Ihsani *et al.* (2024) disebutkan bahwa Kereta Rel Listrik (KRL) merupakan moda transportasi yang menggunakan listrik untuk sistem penggerakannya.

Pengadaan fasilitas transportasi seperti KRL bertujuan untuk mendukung mobilitas masyarakat, dalam penelitian yang dilakukan oleh Lättman & Otsuka (2024) disebutkan bahwa pembangunan transportasi perkotaan yang berkelanjutan didasari atas kemampuan kita dalam menawarkan alternatif selain kendaraan pribadi kepada warga. Sehubungan dengan hal tersebut PT. Kereta Commuter Indonesia (KCI) mengadakan kerjasama dengan PT.INKA dalam pengadaan 16

rangkaian KRL, seperti yang terdapat pada laporan tahunan PT KCI tahun 2023 (PT. Kereta Commuter Indonesia, 2024). Pembangunan KRL di Indonesia juga terbukti menjadi alternatif transportasi yang bermanfaat bagi masyarakat, dalam penelitian yang dilakukan oleh Ramadhani & Swasto (2025) disebutkan bahwa KRL Jogja-Solo berperan sebagai akselerator yang mempercepat dinamika spasial, ekonomi dan sosial yang sebelumnya sudah ada di Kota Jogjakarta maupun Solo.

Dalam mendukung keberhasilan tersebut sistem pengadaan komponen diharapkan tetap baik dan berjalan lancar. Salah satu aturan yang berlaku di Indonesia terkait pengadaan komponen adalah Peraturan Menteri Perindustrian (Permenperin) nomor 35 tahun 2025 yang mendorong perindustrian di Indonesia untuk meningkatkan tingkat komponen dalam negeri dalam produknya (Peraturan Kementrian Perindustrian [Permenperin], 2025). Pemenuhan terkait peraturan tersebut mengalami kendala dikarenakan ditemui di lapangan komponen yang diproduksi dalam negeri tidak sesuai dengan standarisasi dari Toyo Electric Mfg Co. Ltd. Temuan tersebut menjadi tantangan dalam usaha pelokalan komponen selanjutnya dalam studi kasus kali ini adalah komponen dari produk pantograf dengan gambar dari produk adalah sebagai berikut.

SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



Gambar 1. 1 Produk Pantograf
Sumber: Toyo Electric Mfg. Co. Ltd. (2022)

Gambar diatas merupakan produk jadi atau hasil rakitan akhir dari keseluruhan komponen pantograf dengan studi kasus pelokalan pada penelitian ini adalah komponen *baseframe*, *lower arm bracket* dan *upper arm bracket*. Solusi utama dalam mengatasi pantangan yang disebutkan sebelumnya adalah pembuatan komponen yang berlandaskan lisensi yang sudah berlaku. Dalam mendukung proses pelokalan komponen komponen tersebut dilakukan perancangan ulang atau adaptasi desain komponen menggunakan perangkat lunak CAD beserta pengujiannya terlebih dahulu untuk mengetahui keandalan produk. Proses pengujian didukung dengan metode *Quality function deployment* (QFD) yang didasari oleh *Non-Fictional Requirement Analysis* (NFRA) serta *Analytical Hierarchy Process* (AHP) agar menghasilkan pengujian yang berlandaskan kepada *customer* dan *technical requirement*.

Adapun alasan penggunaan metode QFD dikarenakan fleksibilitas metode yang baik, QFD memungkinkan adanya penggabungan dengan metode lainnya untuk menyesuaikan kondisi di lapangan. Penggunaan metode NFRA juga melihat kondisi dimana jepang adalah satu satunya negara yang memproduksi sistem propulsi kereta rel listrik dan pantograf yang beredar di indonesia adalah pantograf dari Toyo Electric Mfg Co. Ltd, hal ini menyebabkan dibutuhkan adaptasi sifat mekanis dari proses pengembangan *baseframe* dan *arm bracket* melalui desain *baseframe* dan *arm bracket* produk lain sehingga penggunaan NFRA memudahkan dalam identifikasi sifat atau karakteristik mekanis komponen. Penggunaan metode AHP juga didasarkan atas kondisi dimana perancangan karakteristik tidak dapat dilakukan oleh konsumen dikarenakan peneliti tidak memiliki akses untuk berkomunikasi secara langsung dengan konsumen sehingga penggunaan metode AHP dengan *stakeholder* sebagai responden merupakan proses yang paling memungkinkan. Harapan dari penggabungan ketiga metode tersebut memberikan kerangka dalam pengujian yang terarah dan berlandaskan kepada identifikasi kebutuhan konsumen.

1.2. Pertanyaan Penelitian

Adapun pertanyaan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Apa saja spesifikasi teknis dari komponen?
- b. Kebutuhan teknis apa yang diprioritaskan dalam proses pengembangan?
- c. Bagaimana desain dari komponen *baseframe*, *lower arm bracket* dan *upper arm bracket*?
- d. Bagaimana hasil simulasi uji pembebanan statis, uji ketahanan suhu dan uji getaran berdasarkan alternatif material yang digunakan?

- e. Alternatif material apa saja yang memenuhi spesifikasi dan kebutuhan teknis berdasarkan pengujian?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Mengidentifikasi spesifikasi teknis komponen berdasarkan simulasi evaluasi teknis.
- b. Menganalisis prioritas karakteristik teknis dalam pengembangan komponen.
- c. Mendesain ulang komponen sesuai dengan lisensi yang berlaku.
- d. Mengidentifikasi kesesuaian desain dengan spesifikasi berdasarkan uji pembebanan statis, uji ketahanan suhu dan uji getaran pada komponen.
- e. Mengidentifikasi alternatif material untuk komponen *baseframe*, *lower arm bracket* dan *upper arm bracket*

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Komponen *baseframe*, *lower arm bracket* dan *upper arm bracket* dikembangkan sesuai standar lisensi.
- b. Terciptanya referensi dalam proses pengembangan komponen untuk mendukung pengembangan kedepannya.
- c. Tercipta alternatif solusi untuk komponen *baseframe*, *lower arm bracket* dan *upper arm bracket*.
- d. Terdongnya usaha pelokalan produksi komponen untuk mengurangi ketergantungan impor komponen.

1.5. Batasan Penelitian

Untuk memfokuskan penelitian dengan tujuan maka peneliti menerapkan batasan dalam penelitian ini sebagai berikut.

- a. Pengambilan data dilakukan oleh peneliti dalam jangka waktu 3 bulan, mulai dari 5 Januari 2026 sampai 31 Maret 2026.
- b. Objek penelitian adalah *baseframe*, *lower arm bracket* dan *upper arm bracket pantograf* KRL yang dikeluarkan oleh PT INKA dan diproduksi oleh Toyo Electric Mfg Co. Ltd serta belum pernah dilokalkan sebelumnya.
- c. Pengembangan desain berbasis adaptasi dan evaluasi teknis melalui simulasi, tanpa pengujian fisik secara eksperimental.

1.6. Sistematika Penulisan

Penelitian ini terbagi dalam lima bab. Pada bab satu atau bab pendahuluan diuraikan latar belakang dilakukannya penelitian beserta pertanyaan, tujuan, manfaat dan batasan penelitian. Selanjutnya pada bab dua atau tinjauan pustaka diterangkan terkait penelitian terdahulu sebagai indikator perbedaan serta landasan teori sebagai dasar penelitian. Berikutnya pada bab tiga dijelaskan keseluruhan rangkaian penelitian beserta objek, jenis data dan metode yang digunakan. Pada bab empat dijelaskan proses pelaksanaan penelitian yang bermula dari pengumpulan data hingga pengolahan untuk menghasilkan kesimpulan berdasarkan metode yang sudah diterangkan pada bab tiga. Pada bab terakhir atau bab lima diterangkan kesimpulan dari penelitian termasuk saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berikut merupakan kesimpulan pada penelitian ini.

- a. Berdasarkan hasil dari NFRA didapatkan kebutuhan teknis dari komponen pantograf meliputi ketahanan terhadap deformasi, ketahanan komponen dalam mengatasi regangan dan tegangan, kekuatan sambungan, ketahanan terhadap korosi dan ketahanan komponen terhadap suhu panas dan dingin dengan pembobotan AHP ketahanan deformasi dan kekuatan sambungan las sebesar 0.37%, ketahanan korosi sebesar 14%, ketahanan komponen dalam mengatasi regangan dan tegangan sebesar 3.3%, ketahanan terhadap suhu dingin 3.2% dan ketahanan terhadap suhu panas 2.4%.
- b. Terdapat 4 spesifikasi teknis yang dihasilkan pada penelitian yaitu pemilihan material komponen yang terstandarisasi JIS serta ISO, kesesuaian dimensi ukuran komponen dengan gambar teknik dan lisensi, ukuran weld beld sesuai dengan karakteristik JIS dan pemberian cat anti korosi. Berdasarkan matriks hubungan *customer requirement* dan *technical requirement* pada HOQ didapatkan 2 spesifikasi teknis utama yaitu pemilihan material komponen yang terstandarisasi JIS serta ISO dengan nilai 8.45 dan kesesuaian dimensi ukuran komponen dengan gambar teknik dan lisensi dengan nilai 8.35.
- c. Desain dari komponen *baseframe* disusun atas baja tubular dengan ketebalan 3.6 hingga 4.2 mm dengan dimensi panjang komponen adalah 1549 mm, lebar, 749.9 mm dan tinggi 75 mm. Komponen *lower arm bracket* disusun atas baja dengan ketebalan 5 hingga 10 mm dengan panjang 100 mm, lebar

55 mm dan tinggi 107 mm sedangkan pada komponen *lower arm bracket* disusun atas baja dengan ketebalan 6 mm dengan lebar 133.46 dan panjang 323 mm..

- d. Hasil simulasi uji pembebanan statis (tekan dan bearing) menunjukkan bahwa ketiga material aman untuk digunakan karena memiliki nilai Safety Factor (SF) > 1, dengan material S335JR memberikan nilai SF tertinggi (1,55), diikuti S275JR (1,42), dan S235JR (1,28). Pada uji ketahanan suhu dalam rentang 15°C hingga 200°C, material S335JR menunjukkan stabilitas termal paling baik dengan tingkat deformasi minimal sebesar 0,015 mm, sementara S275JR sebesar 0,018 mm, dan S235JR sebesar 0,022 mm. Dalam uji getaran pada frekuensi 100-300 Hz, material S335JR juga menunjukkan respon redaman yang paling stabil terhadap beban dinamis dibandingkan kedua material lainnya. Secara keseluruhan, meskipun ketiga alternatif material memenuhi standar keamanan, S335JR direkomendasikan sebagai pilihan terbaik karena keunggulannya dalam menahan beban mekanis dan stabilitas terhadap suhu serta getaran
- e. Alternatif material yang dihasilkan adalah material S275JR, S235JR dan S355JR. Hal ini didasarkan pada hasil pengujian material yang menunjukkan adanya kemiripan antara 3 material yang diuji dengan material S355JR sebagai material yang menunjukkan adanya kelebihan pada beberapa hasil uji.

5.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

- a. Penelitian ini belum menggunakan data hasil pengamatan lapangan terkait komponen pantograf. Peneliti berharap penelitian selanjutnya dapat melanjutkan penelitian dengan data pengamatan lapangan.
- b. Penelitian ini belum melakukan pengujian komponen secara eksperimental hanya berdasar pada pengujian pada perangkat lunak sehingga hasil yang didapatkan bersifat prediksi. Peneliti berharap penelitian selanjutnya dapat melakukan pengujian komponen secara eksperimental sehingga hasil lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Yuzif, R., & Prahasto, T. (2024). Analisis Statis Dan Dinamis Rangka Kendaraan Roda Tiga Material Aluminium Dan Baja Menggunakan Software Altair. *Jurnal Teknik Mesin*, 12(3), 341–352.
- Alatas, R. A., Arpan, A. P., & Subroto, T. (2025). Application of Quality Function Deployment Method in Developing. *JURIT Jurnal Riset Ilmu Teknik*, 3(1), 44–55.
- Asri, N. A. M., Hamid, A. M. A., Norhashimahshaffiar, Sukindar, N. A., Syedshaharuddin, S. I., & Hassan, F. S. (2022). Application of House of Quality in the Conceptual Design of Batik Wax Extruder and Printer. *IIUM Engineering Journal*, 23(1), 310–328. <https://doi.org/10.31436/IIUMEJ.V23I1.1842>
- Blatnicky, M., Sága, M., Dižo, J., & Bruna, M. (2020). Application of light metal alloy EN AW 6063 to vehicle frame construction with an innovated steering mechanism. *Materials*, 13(4), 817.
- Caban, J., Nieoczym, A., Matijošius, J., Kilikevičius, A., & Drozd, K. (2024). Analysis of the construction of the car trailer frame in terms of changing the assembly technology. *Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Ślask*, 124, 47–61.
- Chan, L. K., & Wu, M. L. (2005). A systematic approach to quality function deployment with a full illustrative example. *Omega*, 33(2), 119–139. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.03.010>
- Choifin, M., & others. (2025). Analisis Streses, Displacement Dan Safety Factor Pada Rangka Mobil Listrik Jeep Mini Sys-8. *Jurnal Rekayasa Energi Dan Mekanika*, 5(1), 1.
- Direktorat Diseminasi Statistik. (2023). *Direktori Industri Manufaktur Indonesia*.
- Elhegazy, H., Ebid, A., Mahdi, I., Haggag, S., & Abdul-Rashied, I. (2021). Implementing QFD in decision making for selecting the optimal structural system for buildings. *Construction Innovation*, 21(2), 345–360. <https://doi.org/10.1108/CI-12-2019-0149>
- Eppinger, S. D., & Ulrich, K. (1995). *Product design and development*.
- Fakhrudi, Y. A., Yuwono, I., & Aprialdi, A. (2017). Pemodelan Rangka Pada Kendaraan Prototype City Car Velotaxi. *Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering (JEECAE)*, 2(2), 143–146.
- Geonea, I. D., Dumitru, I., Racila, L., & Copilusi, C. (2026). Dynamic Finite Element and Experimental Strain Analysis of a Passenger-Car Rear Axle for Durable and Sustainable Suspension Design. *Vehicles*, 8(1), 9.
- Gera, B., & Kovalchuk, V. (2019). A study of the effects of climatic temperature changes on the corrugated structure of a culvert of a transportation facility. *Восточно-Европейский Журнал Передовых Технологий*, 3 (7), 26–35.
- Glinz, M. (2007). *On Non-Functional Requirements*. 21–26. <https://doi.org/10.1109/RE.2007.45>
- Glodova, I., Lipták, T., & Bocko, J. (2014). Usage of finite element method for motion and thermal analysis of a specific object in SolidWorks environment. *Procedia Engineering*, 96, 131–135.
- Helle, R. H., & Lemu, H. G. (2021). A case study on use of 3D scanning for reverse engineering and quality control. *Materials Today: Proceedings*, 45, 5255–

5262.

- Ihsani, M. F., Monantun, R., & Suyitno, S. (2024). Analisis Arus Motor DC pada Kereta Rel Listrik JR205 Berdasarkan Pengujian Lapangan (Studi pada PT. Kereta Commuter Indonesia Balai Yasa Manggarai dan Depo Krl Depok). *Journal of Electrical Vocational Education and Technology*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.21009/jevet.0071.01>
- Kostidi, E., Cui, X., & Lyridis, D. (2024). Assessing the On-Board Storage and Use of Ammonia as a Fuel Applying the House of Quality. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/jmse12071097>
- Lättman, K., & Otsuka, N. (2024). Sustainable Development of Urban Mobility through Active Travel and Public Transport. *Sustainability (Switzerland)*, 16(2), 1–8. <https://doi.org/10.3390/su16020534>
- Lawolo, S. G., Nugraha, I. G., Setiawan, R., Tabayyun, C., & Arum, A. (2025). Analisis Kekuatan Frame Trailer menggunakan Finite Element Methode (FEA). *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology)*, 4(2), 148–157.
- Lee, G. C., Lee, Y. B., Choi, B. O., Choi, J. S., Shin, Y. L., & Maeng, J. W. (2017). Accelerated lifetime test using a moment bar for a base frame of an aerial-work-platform vehicle. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31(8), 3853–3860.
- Lestari, M., Kamar, S., Lamma, M., & Nugroho, S. (2023). Assessment of Electric Propulsion Application in Light Rail Transit (LRT). *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 15(3), 188–195. <https://doi.org/10.29122/mipi.v15i3.5043>
- Lo, C. K., Chen, C. H., & Zhong, R. Y. (2021). A review of digital twin in product design and development. *Advanced Engineering Informatics*, 48(March 2021). <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101297>
- Marion, T. J., & Fixson, S. K. (2021). The Transformation of the Innovation Process: How Digital Tools are Changing Work, Collaboration, and Organizations in New Product Development*. *Journal of Product Innovation Management*, 38(1), 192–215. <https://doi.org/10.1111/jpim.12547>
- Maritan, D. (2015). *Practical manual of quality function deployment* (Vol. 190). Springer.
- Mufti, M. A., Al Rauf, P. R. F., Subekti, M. F., & Wibowo, S. S. (2025). Pengembangan Platform Gerak Simulator Pesawat Udara: Pengembangan dan Analisis Struktur. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 16(1), 239–245.
- Muhammad, A., Siddique, A., & Naveed, Q. N. (2023). Prioritizing Non-Functional Requirements in Agile Process Using Multi Criteria Decision Making Analysis. *IEEE Access*, 11(February), 24631–24654. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3253771>
- Mustapha, K. B. (2022). *Practical Finite Element Simulations with SOLIDWORKS 2022: An illustrated guide to performing static analysis with SOLIDWORKS Simulation*. Packt Publishing Ltd.
- Mustaqiem, A. D. (2020). Analisis Perbandingan Faktor Keamanan Rangka Scooter Menggunakan Perangkat Lunak Solidwork 2015. *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*, 9(3), 164–172.
- Omran, A., Hassin, O., Abobaker, M., Elfaghi, A., & Sassi, S. (2025). Mitigating

- Resonant Vibration via Compressor Base Frame redesign at Souq Al-Khamis Cement Factory, Libya (Part II). *Academy Journal for Basic and Applied Sciences*, 7(1).
- Orbak, Â. Y., Korkmaz, Ş., & Aydın, F. U. (2021). Application of quality function deployment and axiomatic design for design choice of intercity bus seats. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 69(2), 83–91. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V69I2P212>
- PM 175 Tahun 2015 Tentang Standar Spesifikasi Teknis Kereta Kecepatan Normal dengan Penggerak Sendiri, Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia (2015).
- Peraturan Kementrian Perindustrian, (2025).
- Popovich, N. D., Rajagopal, D., Tasar, E., & Phadke, A. (2021). Economic, environmental and grid-resilience benefits of converting diesel trains to battery-electric. *Nature Energy*, 6(11), 1017–1025. <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00915-5>
- PT. Kereta Commuter Indonesia. (2024). *Laporan Tahunan 2023: Integrasi dan Konektivitas untuk Melayani Masyarakat*. https://kci.id/files/download/annual_report/FAAR_2023.pdf
- Rahmanulia, B., Solekha, A., Hapsari, S. D., & Al Faritsy, A. Z. (2023). Perencanaan Dan Pengembangan Produk Pouch Bag Menggunakan Metode QFD:(Studi Kasus: Bank Sampah Gemah Ripah Bantul). *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan*, 2(3), 168–175.
- Ramadhani, P., & Swasto, D. F. (2025). Peran Kereta Rel Listrik (KRL) Jogja-Solo sebagai Akselerator Transformasi Kawasan di Pusat Kota (Kasus: Stasiun Tugu Yogyakarta). *Jurnal Peweka Tadulako*, 4(2), 129–141. <https://doi.org/10.22487/peweka.v4i2.78>
- Roslan, M. A. P., Oktavina, R., & Pranoto, S. N. (2025). Pengembangan Produk Paving Block Berbasis Limbah Plastik High-Density Polyethylene (HDPE) Menggunakan House of Quality di PT Rebrick Indonesia. *Teknik Dan Kajian Multidisiplin Aplikatif*, 1(2), 74–86.
- Samuel, A. irfan, Jan, A. B. H., & Palandeng, I. D. (2023). Analisis Penerapan Manajemen Pergudangan Pada Gudang Pt Trakindo Utama Manado. *Jurnal EMBA : Jurnal Riset Ekonomi, Manajemen, Bisnis Dan Akuntansi*, 11(4), 677–685. <https://doi.org/10.35794/emba.v11i4.51036>
- Sasmito, A., Irawadi, Y., & Soebagyo, H. (2019). Analisis of Welding Crack on The Under Frame of Wagon for Cement Bags Transportation Using Euro Code, Measurement and Finite Element. *MATEC Web of Conferences*, 269, 3003.
- Serope Kalpakjian, S. (2015). *Manufacturing, engineering and technology*.
- Siswono, E., & Mulyadi, M. (2019). Static Analysis of Frame Structure of Post-Stroke Tricycle Design Based on Solidworks Software 2012 with Material Type Variations: Analisa Statik Struktur Frame Desain Sepeda Roda Tiga Pasca Stroke Berbasis Software Solidworks 2012 dengan Variasi Jenis Ma. *REM (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 4(2), 107–117.
- Situmorang, E. V. A., Siregar, Z. H., & Harahap, U. N. (2021). Perbaikan dan Pengembangan Produk Baby Chair menggunakan metode QFD (Quality Function Deployment) Studi Kasus; PT. Casa Woodworking Industry. *Jurnal VORTEKS*, 2(2), 91–99. <https://doi.org/10.54123/vorteks.v2i2.86>

- Susilowati, & Nugroho, M. W. (2022). Pendekatan House Of Quality (HOQ) Terhadap Kinerja Jalan dengan Metode Quality Function Deployment (QFD). *Briliant: Jurnal Riset Dan Konseptual*, 7(3), 785. <https://doi.org/10.28926/briliant.v7i3.998>
- Suweca, I. W., & Yahya, J. A. (2018). On the optimization of Kereta Kapsul's base frame structure. *2018 IEEE International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD)*, 1–7.
- Taptajani, D. S., Mubarak, M. S., Aziz, R. A., & Hamidah, U. S. (2024). House Of Quality (Hoq) Approach To Women's Backpack Design Using Quality Function Deployment (Qfd) Method. *Jhss (Journal of Humanities and Social Studies)*, 8(1), 264–267. <https://journal.unpak.ac.id/index.php/jhss/article/view/9449>
- Toteles, A. (2021). Analisis Material Kontruksi Chasis Mobil Listrik Laksamana V2 Menggunakan Software Autodesk Inventor. *Machine: Jurnal Teknik Mesin*, 7(1), 30–37.
- Toyo Electric Mfg. Co. Ltd. (2022). *Toyo Denki Announces Participation in InnoTrans 2022*. https://www.toyodenki.co.jp/en/company/news/pdf/220906_en.pdf
- Utama, D. W., Chandra, W. D., & AS, R. D. (2013). Optimasi Bentuk Rangka Dengan Menggunakan Prestress Pada Prototipe Kendaraan Listrik. *Seminar Nasional Mesin Dan Industri (SNMI8)*.
- Utomo, A. W., & Umar, U. (2022). Analisis Efektivitas Kapasitas Daya Gardu Traksi Terhadap Kebutuhan KRL Jalur Yogyakarta-Solo. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 22(1), 1–7.
- Wang, Y., Ning, B., den Boom, T., De Schutter, B., & others. (2016). *Optimal trajectory planning and train scheduling for urban rail transit systems*. Springer.
- Wibawa, L. A. N. (2019). Pengaruh Pemilihan Material Terhadap Kekuatan Rangka Main Landing Gear Untuk Pesawat Uav. *Akademi Komunitas Semen Indonesia Gresik, Vol 2 No 1*.
- Yanto, M. (2021). Sistem Penunjang Keputusan Dengan Menggunakan Metode AHP Dalam Seleksi Produk. *Jurnal Teknologi Dan Informasi Bisnis*, 3(1), 167–174.
- Zulkarnain, A., Rehandany, R., Putri, D. C., Technology, R. M., Polytechnic, I. R., Street, T. R., City, M., Java, E., & Engineering, R. S. (2024). Comparison Of Main Contact Strip Wear Rates Between Local. *Jurnal Teknologi Transportasi Dan Logistik*, 5(2), 167–178.