



**OPTIMASI TOPOLOGI DAN PROSES CAM PADA DESAIN
BELL CRANK DENGAN PENDEKATAN SIMULASI**

SKRIPSI

MUHAMMAD FURQON RAMADHAN

2010311054

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

2025



**OPTIMASI TOPOLOGI DAN PROSES CAM PADA DESAIN
BELL CRANK DENGAN PENDEKATAN SIMULASI**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

MUHAMMAD FURQON RAMADHAN

2010311054

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

2025

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi diajukan oleh:

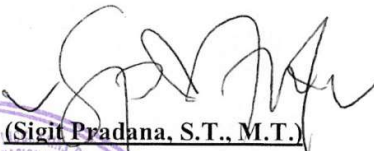
Nama : Muhammad Furqon Ramadhan
NIM : 2010311054
Program Studi : SI Teknik Mesin
Judul Skripsi : Optimasi Topologi dan Proses CAM pada Desain *Bell Crank* dengan Pendekatan Simulasi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta.



(Muhammad Arifudin Lukmana, S.T., M.T.)

Penguji Utama


(Sigit Pradana, S.T., M.T.)
Penguji Lembaga

(Dr. Ir. Muchamad Oktaviandri, S.T.,
M.T., IPM., ASEAN. Eng)
Plt. Dekan Fakultas Teknik

(Ir. Fahrudin, S.T., M.T.)

Penguji III (Pembimbing)



(Ir. Fahrudin, S.T., M.T.)

Kepala Program Studi Teknik Mesin

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 9 Juli 2025

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Muhammad Furqon Ramadhan
NIM : 2010311054
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Judul Skripsi : Optimasi Topologi dan Proses CAM pada Desain *Bell Crank* dengan Pendekatan Simulasi

Telah dikoreksi atau diperbaiki oleh penulis sesuai dengan arahan yang diberikan oleh dosen pembimbing dan diterima sebagai persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta.

Menyetujui



(Ir. Fahrudin, S.T., M.T.)
Dosen Pembimbing I



(Armansyah, S.T., M.Sc., M.Sc., PhD.)
Dosen Pembimbing II

Mengetahui



(Ir. Fahrudin, S.T., M.T.)
Kepala Program Studi Teknik Mesin

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya sendiri, dan semua sumber yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Muhammad Furqon Ramadhan

NIM : 2010311054

Program Studi : S1 Teknik Mesin

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan saya ini maka saya bersedia dituntut dan diproses dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 9 Juli 2025

Yang Menyatakan,

A handwritten signature in black ink is written over a yellow revenue stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem, the text '10000', 'METERAI TEMPEL', and the serial number 'CB3CAMX408344425'.

Muhammad Furqon Ramadhan

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Furqon Ramadhan
NIM : 2010311054
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (*Non Exclusive Royalty Free Right*) atas skripsi saya yang berjudul:

“OPTIMASI TOPOLOGI DAN PROSES CAM PADA DESAIN *BELL CRANK* DENGAN PENDEKATAN SIMULASI”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti ini Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai Hak Cipta.

Demikian pemyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 9 Juli 2025

Yang Menyatakan,



Muhammad Furqon Ramadhan

OPTIMASI TOPOLOGI DAN PROSES CAM PADA DESAIN *BELL CRANK* DENGAN PENDEKATAN SIMULASI

Muhammad Furqon Ramadhan

ABSTRAK

Bell crank merupakan komponen mekanis penting dalam sistem transmisi gaya yang memerlukan optimasi desain untuk meningkatkan efisiensi struktural. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh optimasi topologi terhadap distribusi tegangan, *displacement*, dan faktor keamanan pada desain *bell crank* menggunakan simulasi berbasis Finite Element Method (FEM) dengan software Autodesk Fusion 360. Variasi *mass retain* yang diteliti meliputi 90%, 80%, 70%, dan 60% pada tiga jenis material: Aluminium 6061, Baja Karbon, dan Baja Paduan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan *mass retain* dari 90% ke 60% meningkatkan tegangan *von Mises*. Tegangan tertinggi terjadi pada *mass retain* 60% dengan nilai 166,398 MPa (Aluminium 6061), namun masih di bawah *yield strength* material. *Displacement* juga meningkat seiring pengurangan massa, dengan Aluminium 6061 menunjukkan peningkatan dari 0,786 mm menjadi 1,198 mm. Meskipun faktor keamanan menurun, nilai terendah tetap di atas batas kritis ($SF > 1.5$), membuktikan desain tetap aman. Proses *generate G-code* berhasil dilakukan menggunakan simulasi CAM, menghasilkan program NC dengan 72.295 baris kode dan waktu pemesinan 23 menit 2 detik. Optimasi topologi terbukti efektif mengurangi massa hingga 40% dengan mempertahankan kekuatan struktural *bell crank*.

Kata Kunci: *Bell crank*, optimasi topologi, simulasi CAM

TOPOLOGY OPTIMIZATION AND CAM PROCESS OF BELL CRANK DESIGN USING SIMULATION BASED APPROACH

Muhammad Furqon Ramadhan

ABSTRACT

Bell crank is an important mechanical component in force transmission systems that requires design optimization to improve structural efficiency. This research aims to analyze the effect of topology optimization on stress distribution, displacement, and safety factor in bell crank design using Finite Element Method (FEM) simulation with Autodesk Fusion 360 software. The mass retain variations studied include 90%, 80%, 70%, and 60% on three material types: Aluminum 6061, Carbon Steel, and Alloy Steel. The research results show that mass retain reduction from 90% to 60% significantly increases von Mises stress. The highest stress occurs at 60% mass retain with a value of 166.398 MPa (Aluminum 6061), but remains below the material's yield strength. displacement also increases with mass reduction, with Aluminum 6061 showing an increase from 0.786 mm to 1.198 mm. Although the safety factor decreases, the lowest value remains above the critical limit ($SF > 1.5$), proving the design remains safe. The G-code generation process was successfully performed using CAM simulation, producing an NC program with 72,295 lines of code and a machining time of 23 minutes 2 seconds. Topology optimization proves effective in reducing mass up to 40% while maintaining the structural integrity of the bell crank.

Keywords: *Bell crank, CAM simulation, topology optimization*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Optimasi Topologi dan Proses CAM pada Desain *Bell Crank* dengan Pendekatan Simulasi”.

Skripsi ini dibuat dalam rangka memenuhi persyaratan akademis untuk memperoleh gelar Sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta. Dalam penyelesaiannya, penulis menyadari bahwa skripsi ini pun tak lepas dari bantuan berupa materi, informasi, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan ini pula penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orangtua penulis, Bapak Aep Runawan dan Ibu Indriyani yang senantiasa selalu mendoakan di setiap waktunya, memberikan nasihat, sehingga menjadi semangat bagi penulis untuk tetap melangkah sampai titik akhir.
2. Nurlis Levinawati, dan Seira Alhumaira selaku adik penulis yang selalu membantu dengan kekompakan dan rasa persaudaraan yang kuat.
3. Ibu Siti selaku nenek penulis yang selalu memberikan doa untuk kelancaran dalam skripsi.
4. Seluruh keluarga penulis yang memberikan bantuan dalam berbagai hal demi kelancaran dalam penulisan skripsi ini.
5. Bapak Fahrudin, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik sekaligus dosen pembimbing 1 skripsi, yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan motivasi secara selama menjalani masa perkuliahan hingga proses penyusunan skripsi ini berlangsung.
6. Bapak Armansyah, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing 2 penulis karena telah memberikan saran kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

7. Bapak Muhammad Arifudin Lukmana S.T., M.T. selaku penguji 1 penulis karena telah memberikan saran kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
8. Bapak Sigit Pradana, S.T., M.T. selaku penguji 2 penulis karena telah memberikan saran kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
9. Seluruh jajaran dosen dan staff di Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta yang telah membantu semua proses perizinan serta administrasi.
10. Ibu Veronica Colondam, M.Sc., Ibu Aini, Ibu Aisyah, dan seluruh keluarga besar Yayasan Cinta Anak Bangsa *Foundation* atas dukungan, serta perhatian yang telah diberikan kepada penulis hingga berada pada tahap ini.
11. Raden Bhanu, Christian Jovie, Hafidz Shiddiq, Rahman Akbar, Dipo Revi, Yahya, dan Muhammad Zahran selaku sahabat yang telah memberikan, ide, tempat berkeluh kesah, dukungan, dan motivasi selama penulisan skripsi.
12. Teman – teman Teknik Mesin angkatan 2020 yang telah menemani penulis selama masa perkuliahan di UPNVJ.
13. Manchester United selaku klub sepak bola *favorite* penulis yang telah mengajarkan penulis tentang apa arti kesabaran dalam mencapai suatu tujuan, dan mengajarkan penulis untuk lebih menghargai sebuah proses. Dengan menonton Manchester United memberikan motivasi yang cukup kepada penulis untuk terus maju, berusaha, dan menerima arti kegagalan sebagai proses penempaan menghadapi dinamika kehidupan.

Dengan rendah hati penulis pun menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak di kemudian hari.

Jakarta, Juli 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Mekanisme <i>Bell Crank</i>	8
2.3 Komponen Utama Mekanisme <i>Bell Crank</i>	9
2.4 Prinsip Kerja Mekanisme <i>Bell Crank</i>	9
2.5 <i>Bell Crank Lever</i>	10
2.6 Material yang Digunakan dalam Optimasi Topologi <i>Bell Crank</i>	12

2.6.1 Aluminium 6061	12
2.6.2 Baja Paduan (<i>Alloy Steel</i>).....	13
2.6.3 Baja Karbon (<i>Carbon Steel</i>).....	14
2.7 Beban	15
2.8 Tegangan <i>Von Mises</i>	16
2.9 <i>Displacement</i>	17
2.10 Analisis Statik	17
2.10.1 Tegangan.....	18
2.10.2 Regangan.....	18
2.10.3 Kekuatan Luluh.....	18
2.11 Faktor Keamanan	20
2.12 Teori Kegagalan.....	21
2.13 Optimasi Topologi	22
2.13.1 <i>Mass Retain</i>	23
2.14 <i>Finite Element Method</i> (FEM).....	23
2.15 Konsep Dasar <i>Computer Aided Manufacturing</i> (CAM)	25
2.15.1 Pemrograman NC dan Prinsip Dasar Gerakan <i>Cutter</i>	25
2.15.2 <i>Clearance</i> dan <i>Internal Clearance</i>	27
2.15.3 Parameter dalam Pemrograman NC.....	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	30
3.1 Diagram Alir Penelitian	30
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	31
3.3 Studi Literatur	31
3.4 Variabel Penelitian.....	31
3.4.1 Variabel Bebas	31
3.4.2 Variabel Terikat	31

3.5 Model Material.....	32
3.6 Desain <i>Bell Crank</i>	34
3.7 Validasi Desain	35
3.8 Perhitungan Gaya Pembebanan.....	36
3.9 Proses Optimasi Topologi <i>Bell Crank</i> menggunakan <i>Software Fusion 360</i>	38
3.9.1 Persiapan Model dan Studi.....	38
3.9.2 Konfigurasi Material dan Penentuan <i>Constraint</i>	38
3.9.3 Pemberian Gaya	39
3.9.4 Tahap <i>Meshing</i>	39
3.9.5 Menjalankan Simulasi <i>Shape Optimization</i>	40
3.9.6 Promosi Hasil Optimasi	40
3.9.7 Modifikasi Model Berdasarkan Hasil Optimasi.....	40
3.10 Proses Manufaktur dengan Simulasi.....	41
3.10.1 Model Geometri Hasil Optimasi Topologi	41
3.10.2 <i>Setup</i> Simulasi Manufaktur	41
3.10.3 Pemilihan Jenis Operasi Pemesinan dan <i>Cutting Tool</i>	41
3.10.4 Ekspor <i>G-Code</i>	42
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Hasil Optimasi Topologi <i>Bell Crank</i> dengan Variasi <i>Mass Retain</i>	43
4.2 Hasil Tegangan <i>Von Mises</i> pada <i>Bell Crank</i>	43
4.3 Hasil <i>Displacement</i> pada <i>Bell Crank</i>	48
4.4 Hasil Faktor Keamanan pada <i>Bell Crank</i>	52
4.5 Analisis Tegangan <i>Von Mises</i> pada <i>Bell Crank</i>	56
4.6 Analisis <i>Displacement</i> pada <i>Bell Crank</i>	59
4.7 Analisis Faktor Keamanan pada <i>Bell Crank</i>	61
4.8 Analisis Hasil Simulasi Optimasi Topologi pada <i>Bell Crank</i>	62

4.9 Proses Simulasi CAM	64
4.9.1 Model Geometri Hasil Optimasi Topologi	64
4.9.2 <i>Setup</i>	64
4.9.3 Penentuan Benda Kerja (<i>Stock</i>).....	65
4.9.4 Operasi Pemesinan 1 (<i>Facing</i>)	65
4.9.5 Operasi Pemesinan 2 (<i>2D Adaptive Clearing</i>).....	68
4.9.6 Operasi Pemesinan 3 (<i>2D Adaptive Clearing</i>).....	71
4.9.7 Operasi Pemesinan 4 (<i>2D Contour</i>)	74
4.9.8 Ekspor <i>G-Code</i>	77
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	78
5.1 Kesimpulan	78
5.2 Saran.....	79
 DAFTAR PUSTAKA	
 DAFTAR RIWAYAT HIDUP	
 LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Bell Crank</i>	9
Gambar 2. 2 Aplikasi <i>Bell Crank</i> pada Mekanisme <i>Kick Down</i>	11
Gambar 2. 3 <i>Bell Crank Lever</i>	12
Gambar 2. 4 Beban Terpusat	15
Gambar 2. 5 Beban Merata.....	16
Gambar 2. 6 Grafik Tegangan Regangan Material Ulet (<i>Ductile</i>).....	19
Gambar 2. 7 <i>Rejection Ratio</i> (RR).....	22
Gambar 2. 8 Contoh <i>Meshing</i> Pada Benda Kerja.....	24
Gambar 2. 9 <i>Clearance</i> dan <i>Internal Clearance</i>	27
Gambar 2. 10 <i>Absolute</i> dan <i>Incremental Internal Clearance</i>	27
Gambar 2. 11 <i>Side Step</i> dan <i>Down Step</i>	28
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	30
Gambar 3. 2 Karakteristik Mekanis Material Aluminium 6061.....	33
Gambar 3. 3 Karakteristik Mekanis Material Baja Karbon.....	33
Gambar 3. 4 Karakteristik Mekanis Material Baja Paduan	34
Gambar 3. 5 Dimensi Desain <i>Bell Crank</i>	35
Gambar 3. 6 Gaya Pembebanan <i>Bell Crank</i>	37
Gambar 3. 7 <i>Constraint Bell Crank</i>	39
Gambar 3. 8 Pemberian Gaya pada <i>Bell Crank</i>	39
Gambar 4. 1 Hasil Optimasi Topologi; (a) <i>Mass Retain</i> 90%, (b) <i>Mass Retain</i> 80%, (c) <i>Mass Retain</i> 70%, (d) <i>Mass Retain</i> 60%	43
Gambar 4. 2 Hasil Tegangan <i>Von Mises</i> pada <i>Mass Retain</i> 90% dengan Material Aluminium 6061	44
Gambar 4. 3 Hasil Tegangan <i>Von Mises</i> pada <i>Mass Retain</i> 90% dengan Material Baja Karbon	44
Gambar 4. 4 Hasil Tegangan <i>Von Mises</i> pada <i>Mass Retain</i> 90% dengan Material Baja Paduan.....	44
Gambar 4. 5 Hasil Tegangan <i>Von Mises</i> pada <i>Mass Retain</i> 80% dengan Material Aluminium 6061	45
Gambar 4. 6 Hasil Tegangan <i>Von Mises</i> pada <i>Mass Retain</i> 80% dengan Material Baja Karbon	45

Gambar 4. 7 Hasil Tegangan <i>Von Mises</i> pada <i>Mass Retain</i> 80% dengan Material Baja Paduan.....	45
Gambar 4. 8 Hasil Tegangan <i>Von Mises</i> pada <i>Mass Retain</i> 70% dengan Material Alumunium 6061	46
Gambar 4. 9 Hasil Tegangan <i>Von Mises</i> pada <i>Mass Retain</i> 70% dengan Material Baja Karbon	46
Gambar 4. 10 Hasil Tegangan <i>Von Mises</i> pada <i>Mass Retain</i> 70% dengan Material Baja Paduan.....	46
Gambar 4. 11 Hasil Tegangan <i>Von Mises</i> pada <i>Mass Retain</i> 60% dengan Material Alumunium 6061	47
Gambar 4. 12 Hasil Tegangan <i>Von Mises</i> pada <i>Mass Retain</i> 60% dengan Material Baja Karbon	47
Gambar 4. 13 Hasil Tegangan <i>Von Mises</i> pada <i>Mass Retain</i> 60% dengan Material Baja Paduan.....	47
Gambar 4. 14 Hasil <i>Displacement</i> pada <i>Mass Retain</i> 90% dengan Material Alumunium 6061	48
Gambar 4. 15 Hasil <i>Displacement</i> pada <i>Mass Retain</i> 90% dengan Material Baja Karbon.....	48
Gambar 4. 16 Hasil <i>Displacement</i> pada <i>Mass Retain</i> 90% dengan Material Baja Paduan.....	49
Gambar 4. 17 Hasil <i>Displacement</i> pada <i>Mass Retain</i> 80% dengan Material Alumunium 6061	49
Gambar 4. 18 Hasil <i>Displacement</i> pada <i>Mass Retain</i> 80% dengan Material Baja Karbon.....	49
Gambar 4. 19 Hasil <i>Displacement</i> pada <i>Mass Retain</i> 80% dengan Material Baja Paduan.....	50
Gambar 4. 20 Hasil <i>Displacement</i> pada <i>Mass Retain</i> 70% dengan Material Alumunium 6061	50
Gambar 4. 21 Hasil <i>Displacement</i> pada <i>Mass Retain</i> 70% dengan Material Baja Karbon.....	50
Gambar 4. 22 Hasil <i>Displacement</i> pada <i>Mass Retain</i> 70% dengan Material Baja Paduan.....	51

Gambar 4. 23 Hasil <i>Displacement</i> pada <i>Mass Retain</i> 60% dengan Material Alumunium 6061	51
Gambar 4. 24 Hasil <i>Displacement</i> pada <i>Mass Retain</i> 60% dengan Material Baja Karbon.....	51
Gambar 4. 25 Hasil <i>Displacement</i> pada <i>Mass Retain</i> 60% dengan Material Baja Paduan.....	52
Gambar 4. 26 Hasil Faktor Keamanan pada <i>Mass Retain</i> 90% dengan Material Alumunium 6061	52
Gambar 4. 27 Hasil Faktor Keamanan pada <i>Mass Retain</i> 90% dengan Material Baja Karbon	53
Gambar 4. 28 Hasil Faktor Keamanan pada <i>Mass Retain</i> 90% dengan Material Baja Paduan.....	53
Gambar 4. 29 Hasil Faktor Keamanan pada <i>Mass Retain</i> 80% dengan Material Alumunium 6061	53
Gambar 4. 30 Hasil Faktor Keamanan pada <i>Mass Retain</i> 80% dengan Material Baja Karbon	54
Gambar 4. 31 Hasil Faktor Keamanan pada <i>Mass Retain</i> 80% dengan Material Baja Paduan.....	54
Gambar 4. 32 Hasil Faktor Keamanan pada <i>Mass Retain</i> 70% dengan Material Alumunium 6061	54
Gambar 4. 33 Hasil Faktor Keamanan pada <i>Mass Retain</i> 70% dengan Material Baja Karbon	55
Gambar 4. 34 Hasil Faktor Keamanan pada <i>Mass Retain</i> 70% dengan Material Baja Paduan.....	55
Gambar 4. 35 Hasil Faktor Keamanan pada <i>Mass Retain</i> 60% dengan Material Alumunium 6061	55
Gambar 4. 36 Hasil Faktor Keamanan pada <i>Mass Retain</i> 60% dengan Material Baja Karbon	56
Gambar 4. 37 Hasil Faktor Keamanan pada <i>Mass Retain</i> 60% dengan Material Baja Paduan.....	56
Gambar 4. 38 Diagram Perbandingan Tegangan <i>Von Mises</i> terhadap Variasi <i>Mass Retain</i>	58

Gambar 4. 39 Diagram Perbandingan <i>Displacement</i> terhadap Variasi <i>Mass Retain</i>	60
Gambar 4. 40 Diagram Perbandingan <i>Safety Factor</i> terhadap Variasi <i>Mass Retain</i>	62
Gambar 4. 41 Perbandingan Massa <i>Bell Crank</i> dengan Penelitian Terdahulu....	63
Gambar 4. 42 Tahap Awal <i>Setup</i> Simulasi CAM pada <i>Fusion 360</i>	64
Gambar 4. 43 Pengaturan Dimensi dan <i>Offset</i> Benda Kerja (<i>Stock</i>)	65
Gambar 4. 44 Alat Potong <i>Face Mill</i> Ø50 mm yang Digunakan pada Operasi <i>Facing</i>	66
Gambar 4. 45 <i>Tool Position</i> pada Operasi <i>Facing</i>	66
Gambar 4. 46 Visualisasi Hasil Operasi <i>Facing</i> Setelah Simulasi.....	67
Gambar 4. 47 Hasil Simulasi Waktu Pemesinan Operasi <i>Facing</i> pada <i>Fusion 360</i>	67
Gambar 4. 48 Alat Potong <i>Flat Endmill</i> Ø12 mm yang Digunakan pada Operasi <i>2D Adaptive Clearing</i>	68
Gambar 4. 49 Parameter Pemotongan untuk <i>2D Adaptive Clearing</i> dalam Pembentukan Geometri <i>Bell Crank</i>	69
Gambar 4. 50 <i>Tool Position</i> pada Operasi <i>2D Adaptive Clearing</i>	69
Gambar 4. 51 Visualisasi Hasil Operasi <i>2D Adaptive Clearing</i> Setelah Simulasi	70
Gambar 4. 52 Hasil Simulasi Waktu Pemesinan Operasi <i>2D Adaptive Clearing</i> pada <i>Fusion 360</i>	70
Gambar 4. 53 Alat Potong <i>Flat Endmill</i> Ø3 mm yang Digunakan pada Operasi <i>2D Adaptive Clearing</i>	71
Gambar 4. 54 Pemilihan Geometri menggunakan <i>Closed Chain</i> 1 sampai 10 ...	72
Gambar 4. 55 <i>Tool Position</i> pada Operasi <i>2D Adaptive Clearing</i>	72
Gambar 4. 56 Visualisasi Hasil Operasi <i>2D Adaptive Clearing</i> Setelah Simulasi	73
Gambar 4. 57 Hasil Simulasi Waktu Pemesinan Operasi <i>2D Adaptive Clearing</i> pada <i>Fusion 360</i>	73
Gambar 4. 58 Alat Potong <i>Flat Endmill</i> Ø3 mm yang Digunakan pada Operasi <i>2D Contour</i>	74

Gambar 4. 59 Pemilihan Geometri pada Operasi 2D <i>Contour</i>	75
Gambar 4. 60 <i>Tool</i> Position pada Operasi 2D <i>Adaptive Clearing</i>	75
Gambar 4. 61 Visualisasi Hasil Operasi 2D <i>Contour</i> Setelah Simulasi.....	76
Gambar 4. 62 Hasil Simulasi; (a) Waktu Pemesinan Operasi 2D <i>Contour</i> pada Fusion 360, (b) Total Waktu Pemesinan.....	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik Mekanik Alumunium 6061	13
Tabel 2. 2 Karakteristik Mekanik Baja Paduan.....	13
Tabel 2. 3 Karakteristik Mekanik Baja Karbon	14
Tabel 2. 4 Tipe-Tipe Pembebanan.....	15
Tabel 2. 5 Faktor Keamanan yang Disarankan	20
Tabel 2. 6 Definisi Standar <i>G-Code</i>	26
Tabel 2. 7 Definisi Standar <i>M-Code</i>	26
Tabel 3. 1 Karakteristik Mekanis Material.....	32
Tabel 3. 2 Uji Konvergensi Mesh pada Existed Bellcrank	36
Tabel 4. 1 Data Tegangan Von Mises Bell Crank.....	57
Tabel 4. 2 Data Displacement Bell Crank.....	60
Tabel 4. 3 Data Faktor Keamanan Bell Crank	61