



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**OPTIMASI *THICKNESS* DAN *RADIUS FILLET* PADA DESAIN
CRASH BOX UNTUK MENINGKATKAN *CRASHWORTHINESS*
AN MAMPU MANUFAKTUR DENGAN *MACHINE LEARNING*
*GAUSSIAN PROCESS REGRESSION (ML-GPR)***

SKRIPSI

Oleh:
Rafli Wibisana
NIM. 2202411022

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
JULI, 2026**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**OPTIMASI *THICKNESS* DAN RADIUS *FILLET* PADA DESAIN
CRASH BOX UNTUK MENINGKATKAN *CRASHWORTHINESS*
AN MAMPU MANUFAKTUR DENGAN *MACHINE LEARNING*
*GAUSSIAN PROCESS REGRESSION (ML-GPR)***

SKRIPSI

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin

Oleh:
Rafli Wibisana
NIM. 2202411022

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
JULI, 2026**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**HALAMAN PERSETUJUAN
SKRIPSI**

**OPTIMASI *THICKNESS* DAN RADIUS FILLET PADA DESAIN *CRASH BOX* UNTUK
MENINGKATKAN *CRASHWORTHINESS* DAN MAMPU MANUFAKTUR DENGAN
*MACHINE LEARNING GAUSSIAN PROCESS REGRESSION (ML-GPR)***

Oleh:

Rafli Wibisana

NIM. 2202411022

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Skrripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Ir., Rosidi, S.T., M.T.
NIP. 196509131990031001

Pembimbing 2

Muhamad Hanhan Nugraha, S.Tr.T., M.Tr.T.
NIP. 199508252024061001

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Radhi Maladzi, S.T., M.T.
NIP. 19930728202406100



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**HALAMAN PENGESAHAN
SKRIPSI**

OPTIMASI *THICKNESS* DAN *RADIUS FILLET* PADA DESAIN *CRASH BOX* UNTUK MENINGKATKAN *CRASHWORTHINESS* DAN MAMPU MANUFAKTUR DENGAN *MACHINE LEARNING GAUSSIAN PROCESS REGRESSION (ML-GPR)*

Oleh:

Rafli Wibisana

NIM. 2202411022

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang skripsi di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 8 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1	Ir., Rosidi, S.T., M.T. NIP. 196509131990031001	Ketua Penguji		14/7/2026
2	Budi Yuwono, S.T. NIP. 196306191990031002	Penguji I		14/7/2026
3	Andy Permana Rusdja, S.S.T., M.T. NIP. 199302222024061001	Penguji II		14/7/2026

Depok, 20 Juli 2026

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si.

NIP. 197602252000121002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rafli Wibisana

NIM : 2202411022

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Skripsi telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 20 Juli 2026



Rafli Wibisana

NIM. 2202411022



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

OPTIMASI *THICKNESS* DAN *RADIUS FILLET* PADA DESAIN *CRASH BOX* UNTUK MENINGKATKAN *CRASHWORTHINESS* DAN MAMPU MANUFAKTUR DENGAN *MACHINE LEARNING GAUSSIAN PROCESS REGRESSION (ML-GPR)*

Rafli Wibisana¹⁾, Rosidi²⁾, Muhamad Hanhan Nugraha³⁾

¹⁾Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin,
Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI, Depok, 16424

²⁾Program Studi Diploma III Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
Kampus UI, Depok, 16424

³⁾Program Studi Magister Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin,
Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI, Depok, 16424

Email: rafli.wibisana.tm22@mhs.w.pnj.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi radius *fillet* dan ketebalan dinding terhadap performa *crashworthiness* serta kemudahan manufaktur pada desain *crash box multi-corner*. *Crash box* yang dianalisis memiliki penampang 20 sudut dengan variasi desain, radius *fillet* 1 mm, 2 mm, dan 3 mm, serta ketebalan dinding 1 mm, 2 mm, dan 3 mm. Simulasi dilakukan menggunakan SolidWorks *Simulation* dengan metode *Drop Test-Velocity* pada variasi kecepatan impak 40 km/jam, 70 km/jam, dan 100 km/jam serta sudut tumbukan 0° dan 45°. Parameter *crashworthiness* yang dihitung meliputi *Energy Absorption* (EA), *Specific Energy Absorption* (SEA), *Mean Crushing Force* (MCF), *Peak Crushing Force* (PCF), dan *Crushing Force Efficiency* (CFE). Selain itu, *Manufacturing Index* digunakan untuk menilai tingkat kemudahan manufaktur berdasarkan radius *fillet* dan ketebalan dinding. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan dinding cenderung meningkatkan EA, SEA, MCF, dan PCF, sedangkan radius *fillet* berpengaruh terhadap kestabilan respons struktur dan tingkat kemudahan manufaktur. Pemodelan *Gaussian Process Regression* menghasilkan nilai *R² Test* sebesar 0,7956, MAE sebesar 0,0589, dan RMSE sebesar 0,0770. Hasil *Bayesian Optimization* menunjukkan bahwa desain B-20-3-2 merupakan desain optimum dengan *Mean Score* sebesar 0,6310, *Std Score* sebesar 0,0435, dan *Manufacturing Index* sebesar 1,2.

Kata kunci: *crash box*; *crashworthiness*; Radius *fillet*; *thickness*; *Manufacturing Index*; *Gaussian Process Regression*.



OPTIMIZATION OF THICKNESS AND FILLET RADIUS IN CRASH BOX DESIGN TO IMPROVE CRASHWORTHINESS AND MANUFACTURABILITY USING MACHINE LEARNING GAUSSIAN PROCESS REGRESSION (ML-GPR)

Rafli Wibisana¹⁾, Rosidi²⁾, Muhamad Hanhan Nugraha³⁾

¹⁾Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI, Depok, 16424

²⁾Program Studi Diploma III Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI, Depok, 16424

³⁾Program Studi Magister Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI, Depok, 16424

Email: rafli.wibisana.tm22@mhs.w.pnj.ac.id

ABSTRACT

This study analyzes the effect of variations in fillet radius and wall thickness on crashworthiness performance and manufacturability in the design of a multi-corner crash box. The crash box analyzed has a 20-corner cross-section with various design configurations, fillet radii of 1 mm, 2 mm, and 3 mm, and wall thicknesses of 1 mm, 2 mm, and 3 mm. Simulations were performed using SolidWorks Simulation with the Drop Test–Velocity method at impact speeds of 40 km/h, 70 km/h, and 100 km/h, as well as collision angles of 0° and 45°. The crashworthiness parameters calculated included Energy Absorption (EA), Specific Energy Absorption (SEA), Mean Crushing Force (MCF), Peak Crushing Force (PCF), and Crushing Force Efficiency (CFE). Additionally, the Manufacturing Index was used to assess manufacturability based on fillet radius and wall thickness. The simulation results show that increasing wall thickness tends to increase EA, SEA, MCF, and PCF, while the fillet radius affects the stability of the structural response and the level of manufacturability. Gaussian Process Regression modeling yielded a Test R^2 value of 0.7956, an MAE of 0.0589, and an RMSE of 0.0770. The results of Bayesian Optimization indicate that design B-20-3-2 is the optimal design, with a Mean Score of 0.6310, a Std Score of 0.0435, and a Manufacturing Index of 1.2.

Keywords: crash box; crashworthiness; fillet radius; thickness; Manufacturing Index; Gaussian Process Regression.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Ta'ala atas limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimasi *Thickness* dan radius *fillet* pada Desain *Crash Box* untuk Meningkatkan *Crashworthiness* dan Mampu Manufaktur dengan *Machine Learning Gaussian Process Regression* (ML-GPR)”. Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa penyelesaian penelitian dan penulisan skripsi tidak terlepas dari bantuan, arahan, dukungan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, dan Bapak Radhi Maladzi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur Politeknik Negeri Jakarta.
2. Bapak Ir. Rosidi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I, dan Bapak Muhamad Hanhan Nugraha, S.Tr.T., M.Tr.T., selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, dan evaluasi selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
3. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan ilmu, bantuan, dan dukungan selama penulis menempuh pendidikan.
4. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan doa, dukungan moral, motivasi, serta semangat selama proses perkuliahan dan penyusunan skripsi.
5. Teman-teman seperjuangan penulis: Faiq, Sutan, Yudha, Ja'far, Risat, Arya, Ra'if, Fajar, Affan, Rifky, Darma, Jibrán, dan Yoga, serta rekan-rekan seprodi lainnya yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan kebersamaan dalam suka



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

maupun duka selama masa perkuliahan hingga skripsi ini selesai.

Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 20 Juli 2026

Rafli Wibisana
NIM. 2202411022





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR ISTILAH	xviii
BAB I PENDAHULUAN	19
1.1. Latar Belakang Penelitian	19
1.2. Rumusan Masalah Penelitian	21
1.3. Tujuan Penelitian	22
1.4. Manfaat Penelitian	22
1.5. Batasan Masalah	23
1.6. Sistematika Penulisan Skripsi	23
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	25
2.1. Landasan Teori	25
2.1.1. <i>Crash Box</i>	25
2.1.2. <i>Crash Test</i>	26
2.1.3. <i>Thin Walled Structures</i>	29
2.1.4. <i>Parameter Crashworthiness</i>	30
2.1.5. <i>Material Crash Box</i>	34
2.1.6. <i>Finite Element Analysis (FEA)</i>	35
2.1.7. <i>Indeks Biaya Manufaktur</i>	38
2.1.8. <i>Objective Function</i> dan <i>Normalisasi Parameter</i>	39
2.1.9. <i>Machine Learning, Gaussian Process Regression (GPR), dan Konsep Bayesian</i>	40
2.2. Kajian Literatur	43
2.3. Kerangka Pemikiran dan Pengembangan Hipotesis	48
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	49
3.1. Jenis Penelitian	49
3.2. Objek dan Lokasi Penelitian	50
3.3. Variabel Penelitian	51



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.4. Metode Pengambilan Sampel	52
3.5. Jenis dan Sumber Data Penelitian	53
3.6. Metode Pengumpulan Data Penelitian	56
3.6.1 Data Geometri dan Variasi Desain	56
3.6.2 Data Hasil Simulasi Numerik (FEA)	58
3.6.3 Data Indeks Biaya Manufaktur dan Data Optimasi.....	64
3.7. Metode Analisis Data	66
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	79
4.1. Data Hasil Simulasi SolidWorks <i>Crash Box</i>	79
4.2. Validasi Hasil Perhitungan Parameter <i>Crashworthiness</i>	87
4.2.1 Energy Absorption (EA)	89
4.2.2 Specific Energy Absorption (SEA).....	92
4.2.3 Mean Crushing Force (MCF).....	93
4.2.4 Peak Crushing Force (PCF)	94
4.2.5 Crushing Force Efficiency (CFE)	95
4.3. Hasil Analisis Variabel Bebas terhadap Parameter Hasil.....	96
4.3.1 Analisis Pengaruh Variasi Desain terhadap Parameter <i>Crashworthiness</i>	96
4.3.2 Analisis Pengaruh Kecepatan Impak terhadap Parameter <i>Crashworthiness</i>	97
4.3.3 Analisis Pengaruh radius <i>fillet</i> dan <i>Thickness</i> terhadap Parameter <i>Crashworthiness</i>	100
4.4. Hasil Pemodelan GPR Terbaik dan <i>Bayesian Optimization</i>	106
4.4.1 Hasil Evaluasi Model GPR	106
4.4.2 Analisis Grafik <i>Actual vs Predicted</i>	107
4.4.3 Hasil Ranging Prediksi GPR.....	109
4.4.4 Hasil <i>Bayesian Optimization</i>	110
4.4.5 Analisis Index Biaya Manufaktur	112
BAB V PENUTUP.....	115
5.1. Kesimpulan.....	115
5.2. Saran	116



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA	118
----------------------	-----



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Material Properties AISI 1020 Cold Rolled.....	35
Tabel 2.2 Kajian Literatur	43
Tabel 3.1 Variabel Penelitian.....	51
Tabel 3.2 Bentuk Geometri Desain <i>Crash Box</i> A, B, dan C.....	57
Tabel 3.3 Data gaya kontak hasil simulasi pada sudut 0°	59
Tabel 3.4 Data gaya kontak hasil simulasi pada sudut 45°	60
Tabel 3.5 Struktur <i>Dataset</i> Pemodelan GPR.....	61
Tabel 3.6 Penilaian Indeks Radius <i>Fillet</i> dan <i>Thickness</i>	65
Tabel 4.1 Hasil deformasi <i>crash box</i> pada sudut tumbukan 0° dan 45°	80
Tabel 4.2 Data gaya dan <i>displacement</i> sampel B-20-3-2 pada kecepatan 40 km/jam dan sudut tumbukan 0°	88
Tabel 4.3 Data gaya dan <i>displacement</i> sampel B-20-3-2 pada kecepatan 40 km/jam dan sudut 0°	90
Tabel 4.4 Nilai EA dan Massa <i>Crash Box</i> Sampel B-20-3-2.....	91
Tabel 4.5 Nilai EA dan Deformasi Maksimum <i>Crash Box</i> Sampel B-20-3-2.....	92
Tabel 4.6 Data gaya kontak sampel B-20-3-2 pada kecepatan 40 km/jam dan sudut tumbukan 0°	93
Tabel 4.7 Nilai MCF dan PCF Sampel B-20-3-2.....	94
Tabel 4.8 Ringkasan pengaruh variasi desain terhadap parameter <i>crashworthiness</i>	96
Tabel 4.9 Hasil Evaluasi Model GPR	106
Tabel 4.10 Top 10 Ranking Prediksi GPR Berdasarkan <i>GPR Predicted Score</i> ..	109
Tabel 4.11 Top 10 Hasil <i>Bayesian Optimization</i>	110
Tabel 4.12 Nilai <i>Manufacturing Index</i> berdasarkan kombinasi Radius <i>Fillet</i> dan ketebalan dinding	114



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Letak <i>Crash Box</i> pada Kendaraan Mobil	25
Gambar 2.2 Simulasi <i>Front Impact Test</i>	27
Gambar 2.3 Contoh Tumbukan Miring.....	28
Gambar 2.4 <i>Thin Walled Structures</i>	30
Gambar 2.5 <i>Crash Box</i> dengan Analisis <i>Finite Element Analysis</i>	36
Gambar 2.6 Kerangka Berpikir	48
Gambar 3.1 Arah gaya kontak pada model <i>crash box</i> dan nilai <i>Contact/Friction Force</i> komponen <i>Sum Z</i> pada <i>SolidWorks</i>	60
Gambar 3.2 Arah gaya kontak pada model <i>crash box</i> dan nilai <i>Contact/Friction Force</i> menggunakan <i>Resultant Normal Selection</i> pada <i>SolidWorks</i>	61
Gambar 3.3 Grafik ekstraksi <i>displacement</i> UZ terhadap waktu simulasi dari <i>Time History Graph SolidWorks</i>	63
Gambar 3.4 Flowchart Penelitian.....	66
Gambar 3.5 Desain Penelitian Terdahulu	69
Gambar 3.6 Alur Pemodelan GPR dan <i>Bayesian Optimization</i>	76
Gambar 4.1 Perbandingan EA rata-rata terhadap desain <i>crash box</i> pada variasi kecepatan impak dan sudut tumbukan	81
Gambar 4.2 Perbandingan SEA rata-rata terhadap desain <i>crash box</i> pada variasi kecepatan impak dan sudut tumbukan	82
Gambar 4.3 Perbandingan MCF rata-rata terhadap desain <i>crash box</i> pada variasi kecepatan impak dan sudut tumbukan	84
Gambar 4.4 Perbandingan PCF rata-rata terhadap desain <i>crash box</i> pada variasi kecepatan impak dan sudut tumbukan	85
Gambar 4.5 Perbandingan CFE rata-rata terhadap desain <i>crash box</i> pada variasi kecepatan impak dan sudut tumbukan	86
Gambar 4.6 Grafik Kurva <i>Force-Displacement</i> Sampel B-20-3-2 pada Kecepatan 40 km/jam Sudut 0°	89
Gambar 4.7 Tren EA rata-rata terhadap kecepatan impak pada sudut tumbukan 0° dan 45°	98



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.8 Tren CFE rata-rata terhadap kecepatan impact pada sudut tumbukan 0° dan 45°	99
Gambar 4.9 Kontur EA terhadap Radius <i>Fillet</i> dan ketebalan dinding pada Desain A, Desain B, dan Desain C	100
Gambar 4.10 Kontur SEA terhadap Radius <i>Fillet</i> dan ketebalan dinding pada Desain A, Desain B, dan Desain C	101
Gambar 4.11 Kontur MCF terhadap Radius <i>Fillet</i> dan ketebalan dinding pada Desain A, Desain B, dan Desain C	102
Gambar 4.12 Kontur PCF terhadap Radius <i>Fillet</i> dan ketebalan dinding pada Desain A, Desain B, dan Desain C	103
Gambar 4.13 Kontur CFE terhadap Radius <i>Fillet</i> dan ketebalan dinding pada Desain A, Desain B, dan Desain C	104
Gambar 4.14 Grafik <i>Actual vs Predicted</i> GPR	108
Gambar 4.15 Top 10 Desain Berdasarkan <i>Mean Score</i>	111
Gambar 4.16 Grafik <i>Manufacturing Index</i> terhadap radius dan <i>thickness</i>	113

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1: Grafik *Force Terhadap Displacement Crash Box* Seluruh Model Sampel
- Lampiran 2: Deformasi *Crash Box* Seluruh Model Sampel
- Lampiran 3: Tahap-tahap Simulasi *Drop Test Velocity* di *SolidWorks*
- Lampiran 4: Program GPR dan *Bayesian Optimization* di VSC
- Lampiran 5: Data Hasil Simulasi
- Lampiran 6: 2D *Drawing* Desain A, B, dan C





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISTILAH

AISI	=	<i>American Iron and Steel Institute</i>
CAD	=	<i>Computer-Aided Design</i>
FEA	=	<i>Finite Element Analysis</i>
ML	=	<i>Machine Learning</i>
GPR	=	<i>Gaussian Process Regression</i>
BO	=	<i>Bayesian Optimization</i>
VSC	=	<i>Visual Studio Code</i>
EA	=	<i>Energy Absorption</i>
SEA	=	<i>Specific Energy Absorption</i>
MCF	=	<i>Mean Crushing Force</i>
PCF	=	<i>Peak Crushing Force</i>
CFE	=	<i>Crushing Force Efficiency</i>
MI	=	<i>Manufacturing Index</i>
OF	=	<i>Objective Function</i>
R^2	=	Koefisien determinasi
MAE	=	<i>Mean Absolute Error</i>
RMSE	=	<i>Root Mean Squared Error</i>
CV	=	<i>Cross Validation</i>
UZ	=	<i>Displacement arah sumbu Z</i>
N	=	Newton
kN	=	Kilonewton
J	=	Joule
mm	=	Milimeter
μs	=	Mikrodetik

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Crash box merupakan komponen struktur kendaraan yang berfungsi sebagai penyerap energi awal saat terjadi tumbukan, *crash box* terletak di antara bumper depan atau belakang dengan rangka (*chasis*) utama [1]. Struktur ini umumnya berbentuk tabung berdinding tipis yang dirancang untuk mengalami deformasi plastis progresif sehingga mampu menyerap energi tumbukan dan mengurangi gaya yang diteruskan ke struktur utama kendaraan [1]. Parameter seperti *Energy Absorption* (EA), *Specific Energy Absorption* (SEA), dan *Mean Crushing Force* (MCF) sering digunakan untuk menilai performa *crashworthiness* suatu desain [2].

Banyak desain *crash box* sudah dikembangkan untuk menaikkan kemampuan penyerapan energi, tantangan utama yang masih dihadapi artinya bagaimana memperoleh performa *crashworthiness* yang tinggi tanpa menaikkan kompleksitas dan biaya manufaktur. Desain dengan sudut tajam, struktur *multi-sel*, atau penambahan elemen internal memang bisa menaikkan SEA, tetapi seringkali menambah kesulitan pada proses pembentukan (*forming*), menaikkan kebutuhan presisi *tooling*, serta berdampak pada kenaikan biaya produksi. Selain itu, sebagian besar penelitian masih berfokus di peningkatan performa energi serap semata tanpa mempertimbangkan aspek kemudahan manufaktur secara terintegrasi pada proses optimasi desain.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan performa *crash box* melalui modifikasi geometri dan pendekatan material. Studi tahun 2021 menunjukkan bahwa perubahan bentuk penampang dan penambahan elemen *trigger* mampu meningkatkan stabilitas deformasi progresif serta mengontrol gaya tumbukan awal



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

[3] . Pada tahun 2022, pendekatan *foam-filled thin-walled tubes* dikembangkan untuk meningkatkan nilai *Energy Absorption* (EA) dan *Specific Energy Absorption* (SEA), di mana pengisian material internal terbukti memperbaiki pola deformasi dan efisiensi energi serap dibandingkan struktur *hollow* [4]. Tren tahun 2023 berkembang menuju struktur *hybrid* berupa kombinasi *thin-walled tube* dan *lattice core* hasil manufaktur aditif yang menunjukkan peningkatan signifikan pada SEA akibat interaksi deformasi internal yang lebih kompleks [5]. Selanjutnya, penelitian tahun 2024 mengeksplorasi geometri non-konvensional seperti *special-shaped* dan *multi-cell tubes* untuk meningkatkan jumlah lipatan dan efisiensi energi serap tanpa penambahan massa yang signifikan [6]. Memasuki tahun 2025, desain berbasis pola lipatan seperti struktur *origami-inspired* dikembangkan untuk mengatur jalur deformasi secara lebih terkontrol, sekaligus mulai diterapkannya pendekatan *surrogate modeling* dan *machine learning* untuk mempercepat proses optimasi desain dibandingkan metode simulasi berulang secara konvensional [7].

Sesuai permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan pendekatan optimasi desain *crash box* yang tidak hanya berfokus di peningkatan performa *crashworthiness*, namun juga mempertimbangkan aspek kemudahan manufaktur. Variabel desain yang dianalisis mencakup radius *fillet*, ketebalan dinding, dan variasi sudut beban tumbukan. Radius *fillet* dipilih sebab berpengaruh terhadap distribusi tegangan dan tingkat kesulitan pembentukan, sedangkan ketebalan dinding mempengaruhi kapasitas energi serap serta stabilitas deformasi. Proses optimasi dilakukan memakai model *Machine Learning* berbasis *Gaussian Process Regression* (GPR) yang dikombinasikan menggunakan pendekatan *Bayesian Optimization* untuk memperoleh desain dengan keseimbangan terbaik antara peningkatan EA serta SEA serta penurunan indeks biaya

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

manufaktur.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas peningkatan *crashworthiness* melalui modifikasi geometri, penggunaan *filler*, atau struktur *hybrid*, masih terdapat kesenjangan dalam integrasi antara performa energi serap dan kemudahan manufaktur dalam satu kerangka optimasi yang sistematis. Sebagian besar studi menitikberatkan pada peningkatan SEA atau reduksi gaya puncak tanpa memasukkan parameter biaya manufaktur sebagai variabel evaluasi. Selain itu, pemanfaatan metode *Bayesian Optimization* dalam konteks desain *crash box* masih relatif terbatas dibandingkan penerapan FEA konvensional atau metode optimasi deterministik. Oleh karena itu, penelitian ini menghadirkan pendekatan yang menggabungkan analisis numerik, *surrogate modeling* berbasis GPR, serta optimasi *Bayesian* untuk menjawab kebutuhan desain yang lebih efisien dan aplikatif.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan desain *crash box* yang lebih efisien dan realistis untuk diaplikasikan di industri manufaktur otomotif. Dengan mempertimbangkan performa *crashworthiness* dan kemudahan manufaktur secara bersamaan, desain yang dihasilkan berpotensi mengurangi biaya produksi tanpa mengorbankan aspek keselamatan.

Dari sisi akademik, penelitian ini memperkaya kajian mengenai integrasi metode numerik dan *machine learning* dalam optimasi struktur berdinding tipis, serta membuka peluang untuk pembelajaran di perguruan tinggi dan bisa untuk referensi penelitian selanjutnya.

1.2. Rumusan Masalah Penelitian

1. Bagaimana pengaruh radius *fillet* dan ketebalan (*thickness*) dinding *crash box* terhadap nilai EA, SEA, MCF, PCF, dan CFE pada kondisi pembebanan dengan variasi sudut tumbukan?
2. Bagaimana pengaruh variasi radius *fillet* dan ketebalan dinding

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

terhadap *Manufacturing Index* sebagai indikator tingkat kemudahan manufaktur pada desain *crash box*?

3. Bagaimana konfigurasi bentuk *crash box* yang optimal dengan mempertimbangkan kemudahan proses manufaktur?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh radius *fillet* dan ketebalan (*thickness*) dinding *crash box* terhadap nilai EA, SEA, MCF, PCF, dan CFE pada kondisi pembebanan dengan variasi sudut tumbukan.
2. Menganalisis pengaruh variasi radius *fillet* dan ketebalan dinding terhadap *Manufacturing Index* sebagai indikator tingkat kemudahan manufaktur pada desain *crash box*.
3. Menentukan konfigurasi bentuk *crash box* yang optimal dengan mempertimbangkan kemudahan proses manufaktur.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak, antara lain:

1. Bagi Penulis: Menerapkan dan mengembangkan ilmu teknik mesin khususnya dalam bidang analisis struktur, *finite element analysis* (FEA), optimasi desain, serta penerapan *machine learning* dalam perancangan komponen keselamatan kendaraan.
2. Bagi Industri Otomotif: Memberikan rekomendasi desain *crash box* yang memiliki performa *crashworthiness* yang optimal dengan tetap mempertimbangkan kemudahan proses manufaktur, sehingga dapat mendukung pengembangan komponen yang lebih efisien, ekonomis, dan aplikatif di lingkungan produksi.
3. Bagi Institusi Pendidikan: Menjadi referensi akademik dalam pengembangan metode optimasi struktur berdinding tipis berbasis simulasi numerik dan *machine learning*.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.5. Batasan Masalah

1. Objek penelitian dibatasi pada struktur *crash box multi-corner* dengan jumlah sudut penampang 20 sudut.
2. Desain *crash box* yang dianalisis dibatasi pada tiga variasi desain, yaitu desain a, desain b, dan desain c.
3. Material yang digunakan pada seluruh model *crash box* adalah AISI 1020 *Cold Rolled*.
4. Variasi radius *fillet* dibatasi pada ukuran 1 mm, 2 mm, dan 3 mm.
5. Variasi ketebalan dinding atau *thickness* dibatasi pada ukuran 1 mm, 2 mm, dan 3 mm.
6. Kondisi pembebanan impact dibatasi pada variasi kecepatan 40 km/jam, 70 km/jam, dan 100 km/jam.
7. Sudut tumbukan yang digunakan dalam simulasi dibatasi pada sudut 0° dan 45°.
8. Simulasi dilakukan menggunakan *SolidWorks Simulation* dengan metode *Drop Test–Velocity*.
9. Parameter *crashworthiness* yang dianalisis dibatasi pada *Energy Absorption* (EA), *Specific Energy Absorption* (SEA), *Mean Crushing Force* (MCF), *Peak Crushing Force* (PCF), dan *Crushing Force Efficiency* (CFE).
10. Penelitian ini tidak membahas pola lipatan deformasi *crash box* secara detail, melainkan difokuskan pada analisis data gaya, *displacement*, dan parameter *crashworthiness* hasil simulasi.
11. Penelitian ini hanya membahas hasil simulasi numerik dan tidak melakukan pengujian eksperimental secara fisik.

1.6. Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika penulisan skripsi ini disusun secara sistematis ke dalam lima bab sebagai berikut:

1. BAB 1: PENDAHULUAN Berisi latar belakang penelitian mengenai pentingnya optimasi desain *crash box* yang mempertimbangkan performa *crashworthiness* dan kemudahan

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

manufaktur, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

2. BAB 2: TINJAUAN PUSTAKA Memaparkan landasan teori yang mendukung penelitian, meliputi pengertian *crash box*, *crash test*, struktur berdinding tipis, parameter *crashworthiness* (EA, SEA, MCF, PCF, CFE), konsep kemudahan manufaktur, *Finite Element Analysis* (FEA), serta metode *Machine Learning* berbasis *Gaussian Process Regression* dan *Bayesian Optimization*.
3. BAB 3: METODOLOGI PENELITIAN Menjelaskan jenis penelitian, objek penelitian, penentuan variabel, proses pemodelan geometri menggunakan CAD, penyusunan simulasi numerik menggunakan *SolidWorks Simulation*, metode ekstraksi parameter *crashworthiness* , perhitungan *Manufacturing Index*, serta tahapan optimasi desain menggunakan pendekatan *Machine Learning* melalui *Gaussian Process Regression* (GPR) dan *Bayesian Optimization*.
4. BAB 4: HASIL DAN PEMBAHASAN Berisi hasil simulasi numerik pada berbagai variasi desain, analisis pengaruh ketebalan dan radius *fillet* terhadap EA, SEA, dan MCF pada variasi sudut beban, hasil optimasi berbasis GPR dan *Bayesian*, serta pembahasan keseimbangan antara performa *crashworthiness* dan kemudahan manufaktur.
5. BAB 5: PENUTUP Berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian serta saran untuk pengembangan penelitian lanjutan dan implementasi desain di industri.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, perhitungan parameter *crashworthiness*, *Manufacturing Index*, pemodelan *Gaussian Process Regression* (GPR), dan *Bayesian Optimization* yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi radius *fillet* dan ketebalan dinding memberikan pengaruh terhadap parameter *crashworthiness* *crash box*, yaitu *Energy Absorption* (EA), *Specific Energy Absorption* (SEA), *Mean Crushing Force* (MCF), *Peak Crushing Force* (PCF), dan *Crushing Force Efficiency* (CFE). Berdasarkan hasil simulasi, peningkatan ketebalan dinding cenderung meningkatkan nilai EA, SEA, MCF, dan PCF karena struktur menjadi lebih kuat dalam menahan beban tumbukan. Namun, peningkatan PCF perlu dikendalikan karena gaya puncak yang terlalu besar dapat menurunkan kualitas respons *crashworthiness*. Sementara itu, variasi radius *fillet* memberikan pengaruh terhadap kestabilan respons gaya, meskipun pengaruhnya tidak selalu lebih dominan dibandingkan ketebalan dinding. Pada kondisi sudut tumbukan 0°, nilai *crashworthiness* cenderung lebih tinggi dibandingkan sudut 45° karena arah pembebanan lebih sejajar dengan sumbu utama *crash box*.
2. Variasi radius *fillet* dan ketebalan dinding berpengaruh terhadap nilai *Manufacturing Index* sebagai indikator tingkat kemudahan manufaktur. Radius *fillet* yang lebih kecil menghasilkan nilai indeks yang lebih tinggi karena dinilai lebih sulit dibentuk dan membutuhkan ketelitian proses yang lebih besar. Sebaliknya, radius *fillet* yang lebih

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

besar menghasilkan nilai indeks yang lebih rendah sehingga lebih mudah dari sisi manufaktur. Ketebalan dinding yang semakin besar juga meningkatkan nilai *Manufacturing Index* karena kebutuhan material dan tingkat kesulitan pembentukan menjadi lebih tinggi. Kombinasi radius level 3 dan *thickness* level 1 menghasilkan nilai *Manufacturing Index* terendah, sedangkan kombinasi radius level 1 dan *thickness* level 3 menghasilkan nilai *Manufacturing Index* tertinggi.

3. Konfigurasi desain *crash box* optimum diperoleh melalui pemodelan GPR dan *Bayesian Optimization* dengan mempertimbangkan *objective function* yang menggabungkan parameter EA, SEA, CFE, PCF, dan *Manufacturing Index*. Berdasarkan hasil *Bayesian Optimization*, desain B-20-3-2 dipilih sebagai desain optimum karena memiliki nilai *Mean Score* tertinggi sebesar 0,6310, *Std Score* sebesar 0,0435, dan *Manufacturing Index* sebesar 1,2. Desain ini menggunakan geometri Desain B, jumlah 20 sudut, radius *fillet* level 3, dan ketebalan dinding level 2. Dengan demikian, B-20-3-2 dinilai sebagai konfigurasi yang paling sesuai karena mampu memberikan keseimbangan antara performa *crashworthiness* , kestabilan hasil, dan kemudahan proses manufaktur.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan validasi eksperimen terhadap desain *crash box* optimum agar hasil simulasi dapat dibandingkan dengan kondisi aktual. Validasi ini

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- penting untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara hasil simulasi numerik dan respons struktur pada pengujian fisik.
2. Variasi parameter desain dapat diperluas dengan menambahkan variabel lain, seperti panjang *crash box*, jenis material, bentuk *trigger*, jumlah sudut penampang, dan variasi geometri lainnya. Penambahan variabel tersebut dapat memberikan hasil optimasi yang lebih luas dan memungkinkan diperolehnya desain dengan performa yang lebih baik.
 3. Analisis simulasi selanjutnya dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga lain seperti *ANSYS LS-DYNA* atau *Abaqus/Explicit* sebagai pembanding terhadap hasil simulasi *SolidWorks*. Perbandingan antarperangkat lunak dapat membantu meningkatkan keakuratan hasil simulasi, terutama pada analisis tumbukan dinamis.
 4. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mempertimbangkan parameter manufaktur secara lebih detail, seperti estimasi biaya produksi, waktu pembentukan, toleransi geometri, dan potensi cacat proses, agar desain optimum yang dihasilkan tidak hanya unggul secara numerik, tetapi juga lebih realistis untuk diterapkan dalam produksi.
 5. Pengembangan metode optimasi dapat dilakukan dengan membandingkan GPR dan *Bayesian Optimization* dengan metode lain, seperti Artificial Neural Network, Random Forest, Genetic Algorithm, atau metode optimasi *multiobjektif* lainnya.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Sciences, “Energy Absorption and Deformation Pattern on Two Segment Crash Box with Rubber Connection Variation,” vol. 1, no. 1, pp. 20–28, 2019.
- [2] A. Jusuf, M. H. Jarwadi, and D. G. Hastungkorojati, “Design Exploration and Optimization of a Multi-Corner Crash Box under Axial Loading via Gaussian Process Regression,” vol. 15, no. September, pp. 1749–1770, 2024, doi: 10.14716/ijtech.v15i6.7278.
- [3] M. Harhash, M. Kuhtz, J. Richter, A. Hornig, M. Gude, and H. Palkowski, “Trigger geometry in influencing the failure modes in steel / polymer / steel sandwich crashboxes : Experimental and numerical evaluation,” *Compos. Struct.*, vol. 262, no. October 2020, p. 113619, 2021, doi: 10.1016/j.compstruct.2021.113619.
- [4] C. H. Vu, T. Hieu, T. Le, P. Khanh, and H. Nguyen, “Analysis of Thin Wall Structures for Energy Absorption Applications by ABAQUS,” vol. 4, pp. 73–89, 2022.
- [5] C. Tao *et al.*, “Crashworthiness of Additively Manufactured Lattice Reinforced Thin-Walled Tube Hybrid Structures,” 2023.
- [6] M. Tunay, “A study of crashworthiness performance in thin-walled multi-cell tubes 3D-printed from different polymers,” no. August, pp. 1–13, 2024, doi: 10.1002/app.56287.
- [7] H. Ning, X. Chen, Z. Liu, Z. Lei, and Q. Wang, “Energy absorption of thin-walled tubes with a pre-folded origami-inspired structure,” vol. 17, no. 3, pp. 1–17, 2025, doi: 10.1177/16878132251330663.
- [8] N. Jafarzadeh-Aghdam *et al.*, “Potential of Integrated Component-Driven Material Design to Improve Crash Box Performance,” *Metals (Basel)*, vol. 13, no. 5, 2023, doi: 10.3390/met13050915.
- [9] M. Rogala, “Crashworthiness Analysis of Thin-Walled Square Columns with a Hole Trigger,” 2023.
- [10] G. Balaji and K. Annamalai, “An experimental and numerical scrutiny of crashworthiness variables for square column with V-notch and groove



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- initiators under quasi-static loading An experimental and numerical scrutiny of crashworthiness variables for square column with V-notch and groo,” *Cogent Eng.*, vol. 21, 2017, doi: 10.1080/23311916.2017.1364118.
- [11] M. Capretti, G. Del Bianco, and V. Giammaria, “Natural Fibre and Hybrid Composite Thin-Walled Structures for Automotive Crashworthiness : A Review,” 2024.
- [12] D. Bendjaballah, M. Sahli, and T. Barrière, “Modeling and numerical simulation of car frontal crash test using finite element method,” 2025.
- [13] G. B. Kocabas, S. Yalcinkaya, E. Cetin, and Y. Sahin, “Energy Absorption of a Novel Lattice Structure-Filled Multicell Thin-Walled Tubes Under Axial and Oblique Loadings,” *Adv. Eng. Mater.*, vol. 26, no. 20, 2024, doi: 10.1002/adem.202400483.
- [14] Q. Ma *et al.*, “Bio-Inspired Thin-Walled Straight and Tapered Tubes with Variable Designs Subjected to Multiple Impact Angles for Building Constructions,” *Buildings*, vol. 15, no. 4, 2025, doi: 10.3390/buildings15040620.
- [15] S. S. Hamza, A. E. Ismail, M. Y. Yuhazri, and A. Hamdan, “Hybridization Effect on Crashworthiness Parameters of Natural Composite,” vol. 8, no. February, pp. 1–9, 2021, doi: 10.3389/fmats.2021.619245.
- [16] C. Yang, “On the Crush Behavior and Energy Absorption of Sustainable Beverage Cans and Their Polyurethane Foam-Filled Structures : An Experimental Study,” 2024.
- [17] B. Xu, C. Wang, and S. C. K. Yuen, “Deformation pattern and energy absorption characteristics of a four-tube nested system under lateral and oblique loadings,” *Lat. Am. J. Solids Struct.*, vol. 18, no. 6, pp. 1–16, 2021, doi: 10.1590/1679-78256550.
- [18] M. S. Sobeh, A. H. I. Mourad, M. A. AlKhedher, and M. Sudhanshu, “Impact of the inclination angle of corrugated energy absorbers on the crashworthiness performance: numerical study,” *Sci. Rep.*, vol. 16, no. 1, pp. 1–25, 2026, doi: 10.1038/s41598-026-45983-3.
- [19] W. Wang, Y. Wang, Z. Zhao, Z. Tong, X. Xu, and C. W. Lim, “Numerical



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Simulation and Experimental Study on Energy Absorption of Foam-Filled Local Nanocrystallized Thin-Walled Tubes under Axial Crushing,” 2022.
- [20] D. Hidayat, J. Istiyanto, D. A. Sumarsono, F. Kurniawan, and K. Abdurohman, “Crashworthiness Characteristics of Thin-Walled Multi-Cell Structures via the Application of Annealing Process : An Experimental Investigation,” vol. 11, no. 03, pp. 1892–1900, 2024.
- [21] E. Köseadağ and D. İşler, “Effect of Section Geometry and Material Type on Energy Absorption Capabilities of Crash Boxes,” *Karaelmas Sci. Eng. J.*, vol. 13, no. 1, pp. 42–51, 2023, doi: 10.7212/karaelmasfen.1150591.
- [22] M. F. Andira, W. Afnison, W. Waskito, and D. Y. Sari, “Comparative static structural assessment of an energy-efficient prototype vehicle chassis using finite element analysis: AISI 1020 steel vs. 6061-T6 aluminum,” *J. Eng. Res. Lect.*, vol. 4, no. 3, pp. 146–158, 2025, doi: 10.58712/jerel.v4i3.199.
- [23] Z. Zhang, “Applied Mathematics and Nonlinear Sciences,” 2023.
- [24] L. Ksv, “Computational Modelling and Finite Element Analysis for Slope Stability Validation,” vol. 10, no. 3, pp. 1748–1763, 2025.
- [25] M. Hayder, E. Burns, and J. Livingston, “Drop Test Simulation in SolidWorks,” vol. 19, no. 2, pp. 39–42, 2022, doi: 10.9790/1684-1902013942.
- [26] H. D. S. Budiono, W. Purnawirawan, J. Istiyanto, and G. Liston, “Towards a Framework for Early Cost Estimation Based on Process Complexity Index for Machined Components Studi Literatur dan Analisis Komparatif Pengembangan Framework Konseptual,” pp. 18–25.
- [27] Y. Lin, Y. Lin, W. Lin, H. Liu, S. Zhang, and Z. Wang, “Effect of die fillet radius on tube thinning in free bending,” pp. 1–21, 2026.
- [28] R. Rajesh, K. A. Bharath, M. N. P. K, and S. Subramaniam, “SPRINGBACK DEFECT MINIMIZATION IN U BENDING OF AL5052 ALLOY SHEET USING BOX BEHNKEN DESIGN OF EXPERIMENTS,” vol. 22, no. 1, 2024.
- [29] J. Ren, S. Liu, X. Dong, and C. Zhao, “Multi-Objective Optimization of the Crashworthiness of Aluminum Circular Tubes with Graded Thicknesses,”



Hak Cipta :

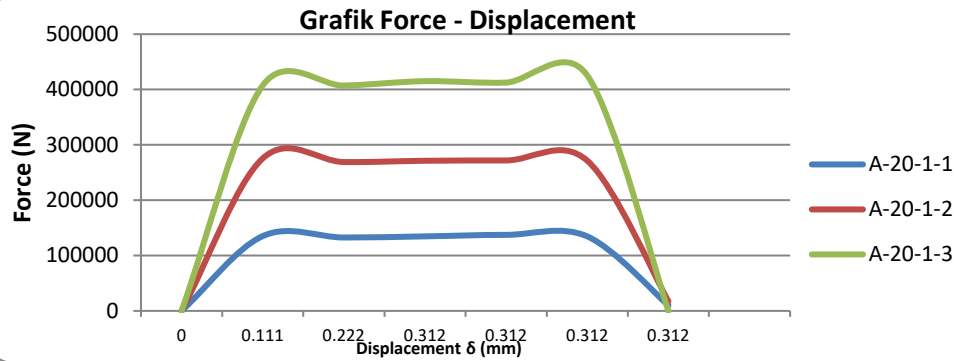
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Materials (Basel)., vol. 18, no. 23, pp. 1–22, 2025, doi: 10.3390/ma18235399.

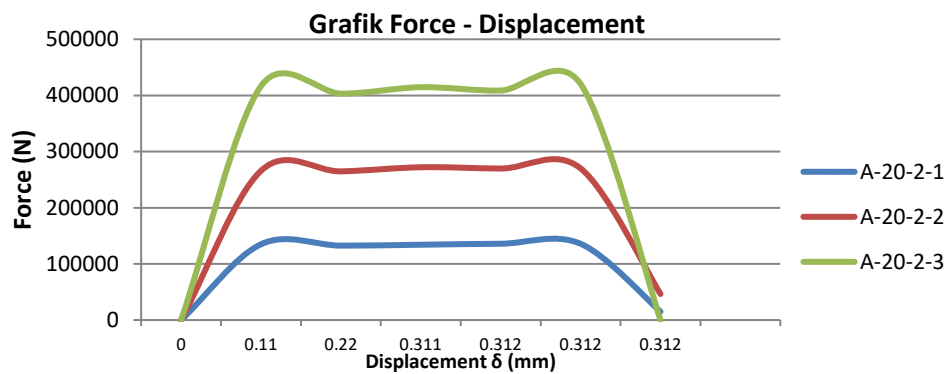
- [30] Z. Liu, Y. Wang, X. Liang, and W. Yu, “Crashworthiness Study of Functional Gradient Lattice-Reinforced Thin-Walled Tubes under Impact Loading,” *Materials (Basel)*., vol. 17, no. 10, pp. 1–19, 2024, doi: 10.3390/ma17102264.
- [31] N. Vafaei, R. A. Ribeiro, and L. M. Camarinha-Matos, “Assessing Normalization Techniques for Simple Additive Weighting Method,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 199, pp. 1229–1236, 2021, doi: 10.1016/j.procs.2022.01.156.
- [32] X. Qian and E. R. Dougherty, “and experimental design under uncertainty for materials discovery,” no. 4, pp. 1–20, 2023, doi: 10.1016/j.patter.2023.100863.
- [33] D. Chicco, M. J. Warrens, and G. Jurman, “The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation,” *PeerJ Comput. Sci.*, vol. 7, pp. 1–24, 2021, doi: 10.7717/PEERJ-CS.623.
- [34] J. A. Almutairi and T. Malik, “Developing Gaussian process regression, Lasso regression, and Nu-support vector regression models for predicting solubility of exemestane in supercritical CO₂,” *Sci. Rep.*, vol. 16, no. 1, pp. 1–12, 2026, doi: 10.1038/s41598-025-31291-9.
- [35] S. Park and K. Jung, “Gaussian process regression-based structural response model and its application to regional damage assessment,” *ISPRS Int. J. Geo-Information*, vol. 10, no. 9, 2021, doi: 10.3390/ijgi10090574.
- [36] J. Buah, “JTIM : Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia Hybrid Algoritma Vgg16-Net dengan Support Vector Machine,” vol. 5, no. 2, pp. 56–65, 2023.

LAMPIRAN

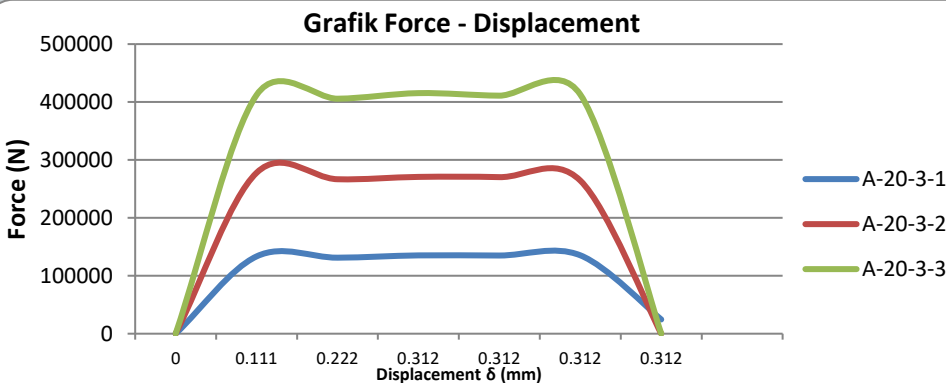
Lampiran 1: Grafik Force Terhadap Displacement Crash Box Seluruh Model Sampel



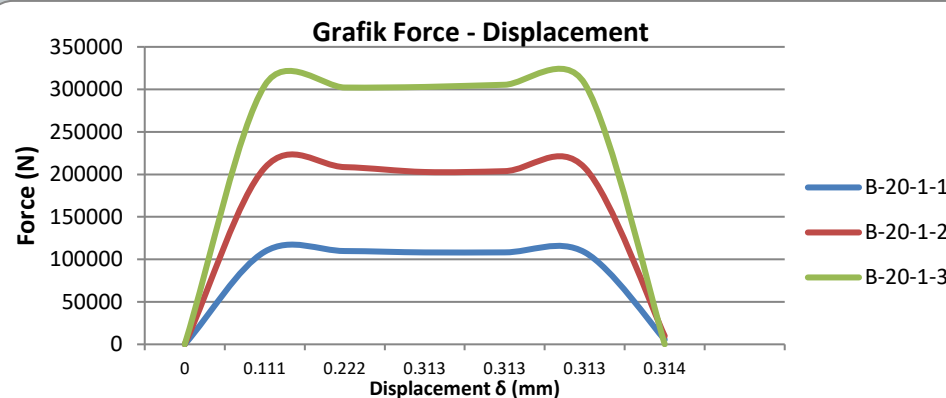
Grafik Force Displacement Crash box Desain 1, Radius 1, 40 Km/h, sudut 0°



Grafik Force Displacement Crash box Desain 1, Radius 2, 40 Km/h, sudut 0°



Grafik Force Displacement Crash box Desain 1, Radius 3, 40 Km/h, sudut 0°



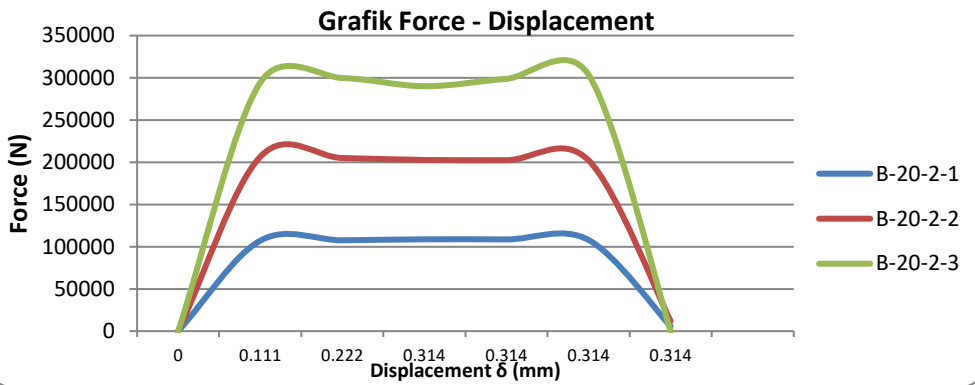
Grafik Force Displacement Crash box Desain 2, Radius 1, 40 Km/h, sudut 0°

Hak Cipta :

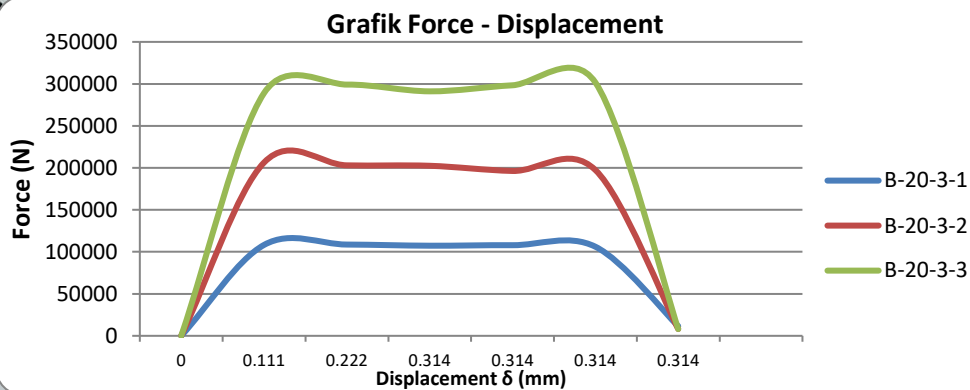
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

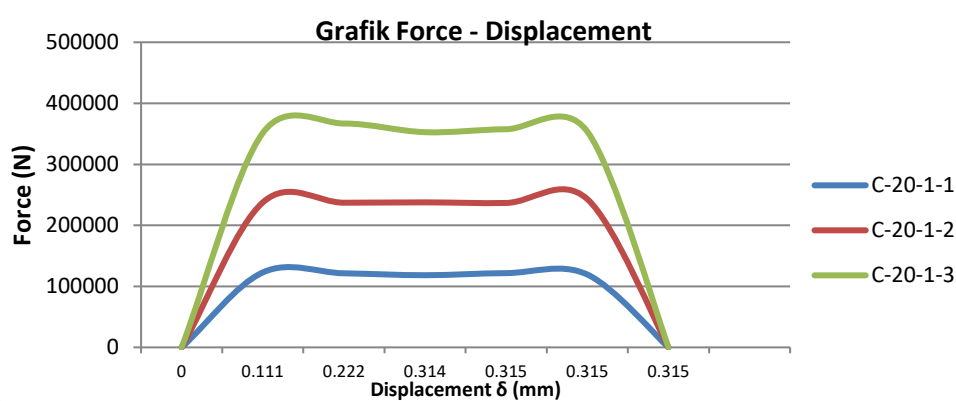
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



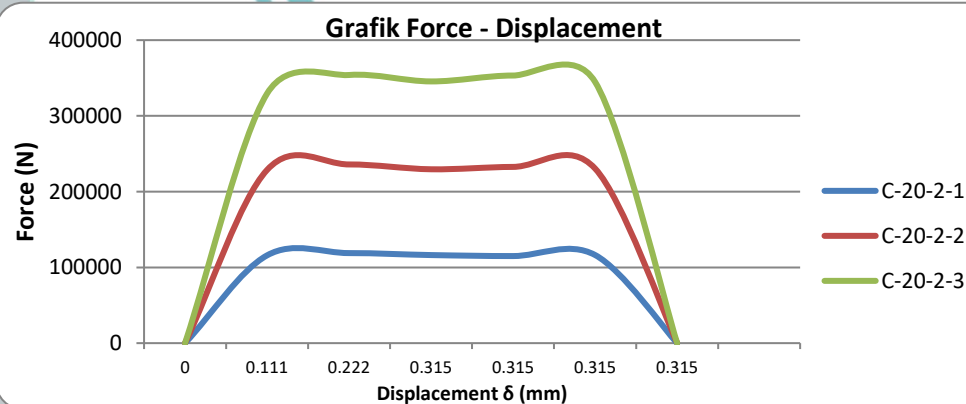
Grafik Force Displacement Crash box Desain 2, Radius 2, 40 Km/h, sudut 0°



Grafik Force Displacement Crash box Desain 2, Radius 3, 40 Km/h, sudut 0°



Grafik Force Displacement Crash box Desain 3, Radius 1, 40 Km/h, sudut 0°

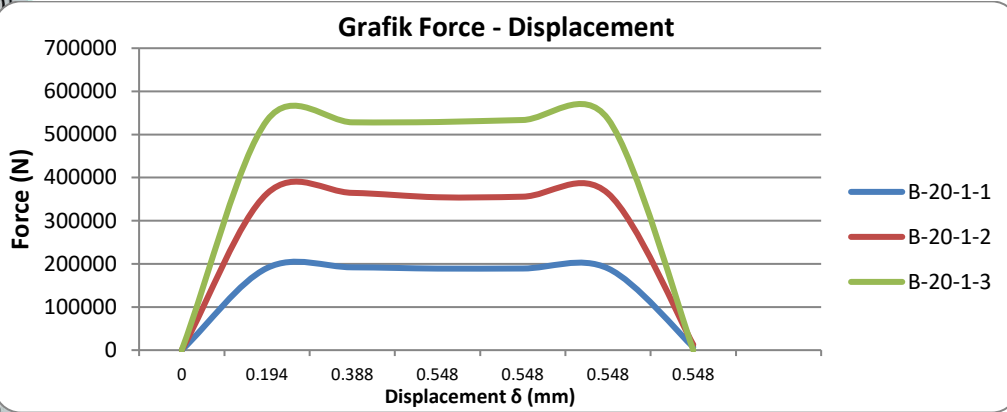


Grafik Force Displacement Crash box Desain 3, Radius 2, 40 Km/h, sudut 0°

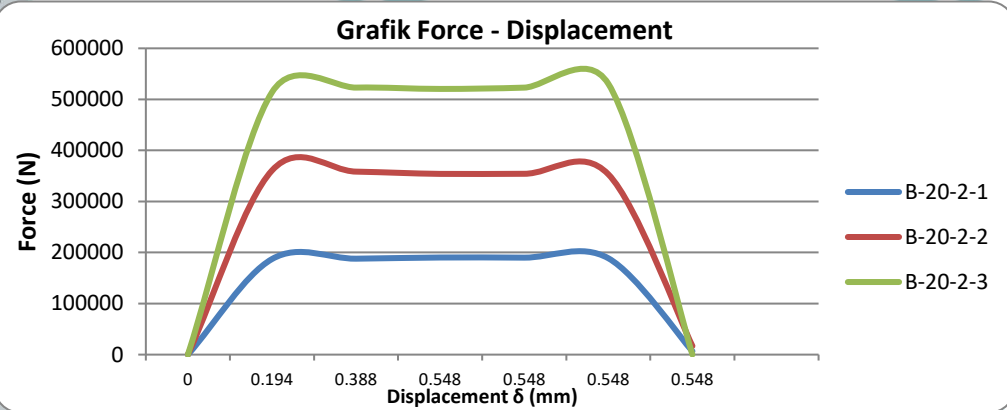
[illegible]

Hak Cipta :

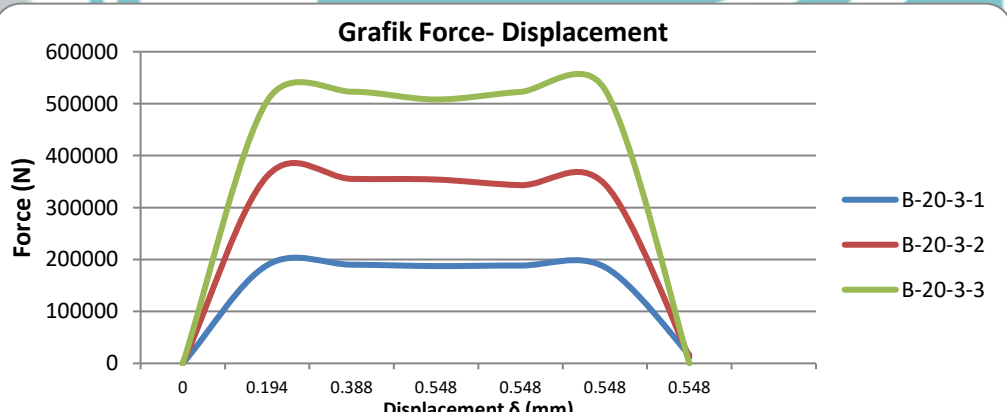
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



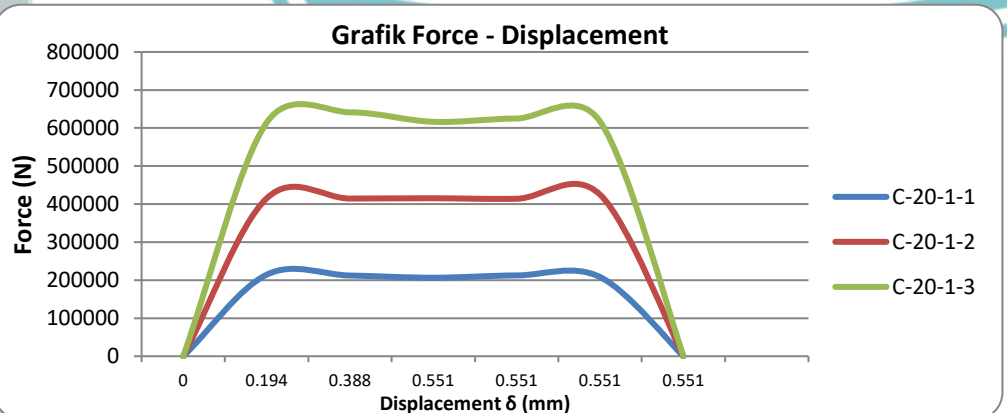
Grafik Force Displacement Crash box Desain 2, Radius 1, 70 Km/h, sudut 0°



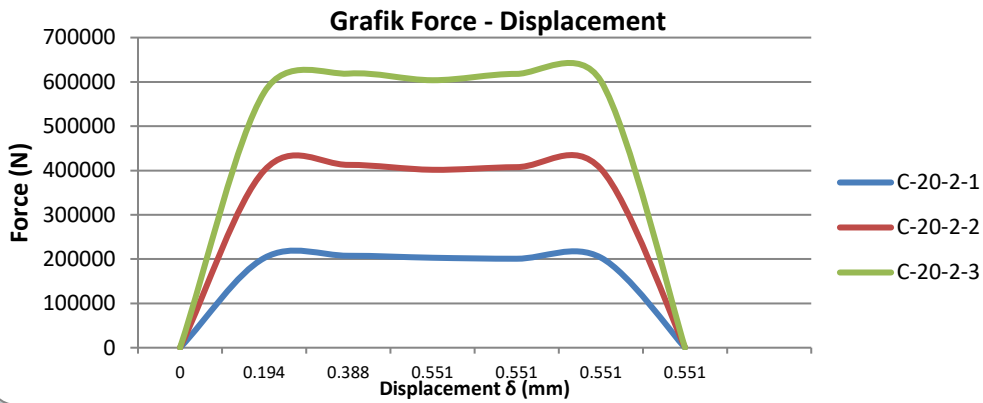
Grafik Force Displacement Crash box Desain 2, Radius 2, 70 Km/h, sudut 0°



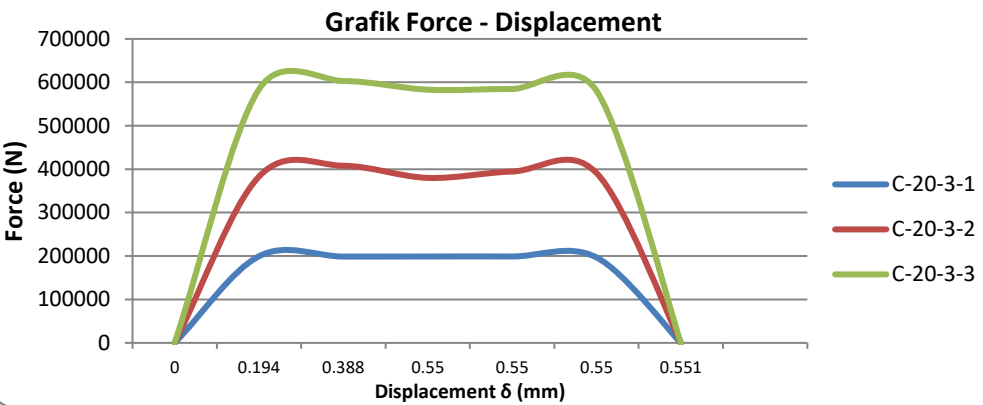
Grafik Force Displacement Crash box Desain 2, Radius 3, 70 Km/h, sudut 0°



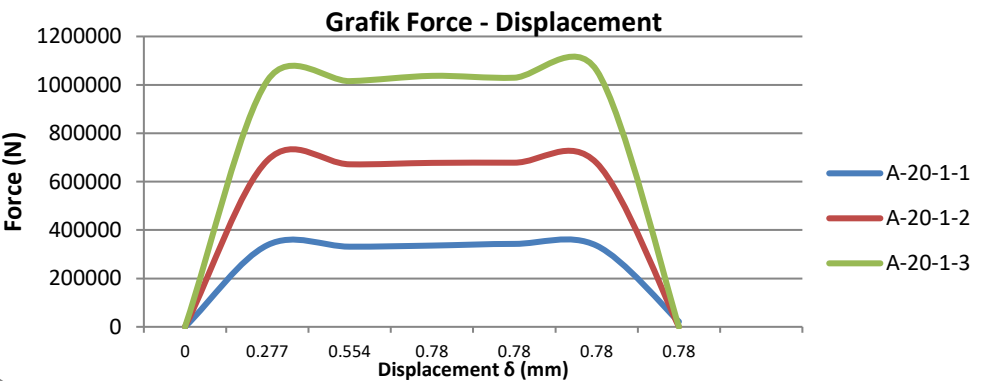
Grafik Force Displacement Crash box Desain 3, Radius 1, 70 Km/h, sudut 0°



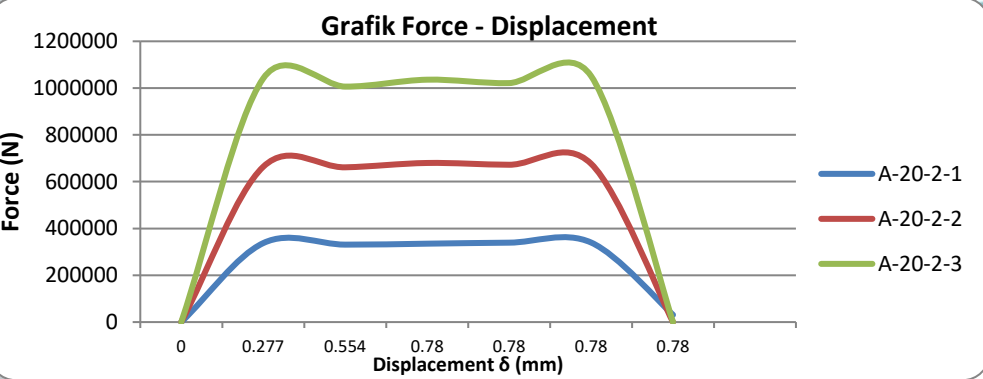
Grafik Force Displacement Crash box Desain 3, Radius 2, 70 Km/h, sudut 0°



Grafik Force Displacement Crash box Desain 3, Radius 3, 70 Km/h, sudut 0°



Grafik Force Displacement Crash box Desain 1, Radius 1, 100 Km/h, sudut 0°



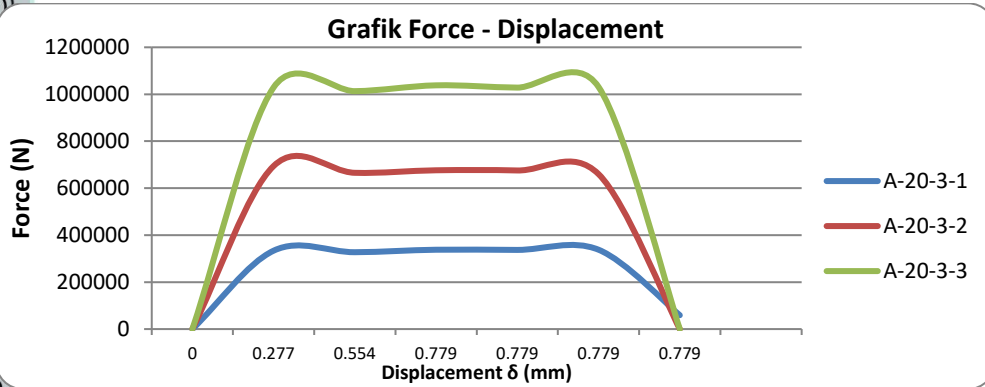
Grafik Force Displacement Crash box Desain 1, Radius 2, 100 Km/h, sudut 0°

Hak Cipta :

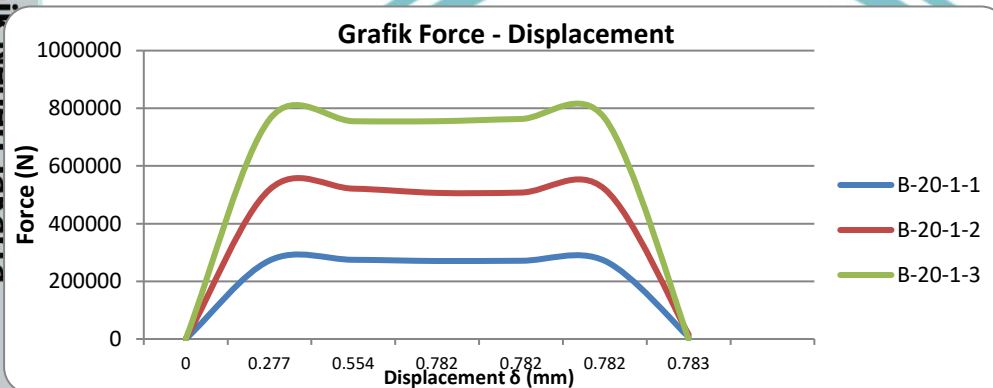
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

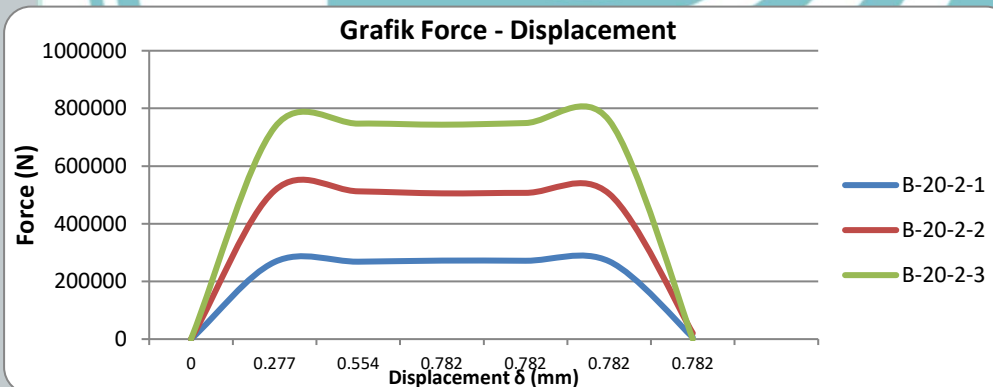
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



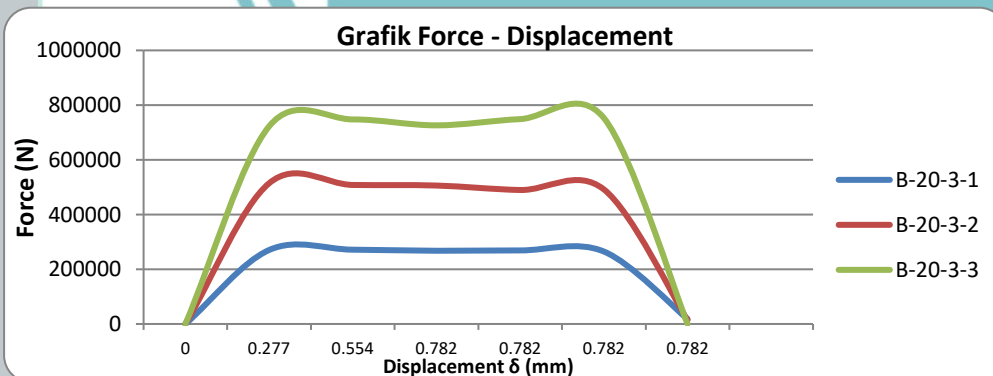
Grafik Force Displacement Crash box Desain 1, Radius 3, 100 Km/h, sudut 0°



Grafik Force Displacement Crash box Desain 2, Radius 1, 100 Km/h, sudut 0°



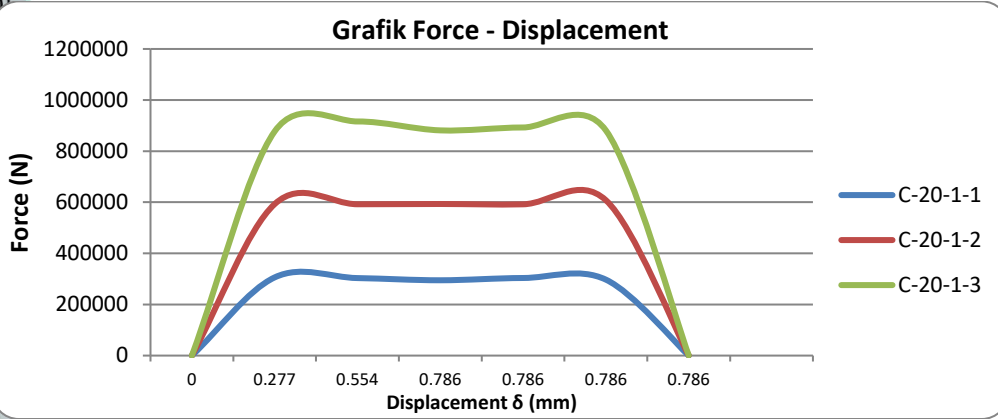
Grafik Force Displacement Crash box Desain 2, Radius 2, 100 Km/h, sudut 0°



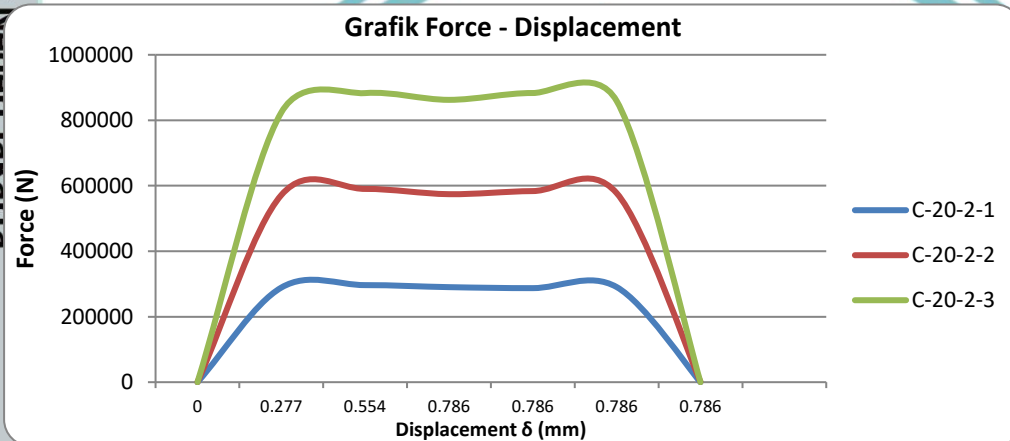
Grafik Force Displacement Crash box Desain 2, Radius 3, 100 Km/h, sudut 0°

Hak Cipta :

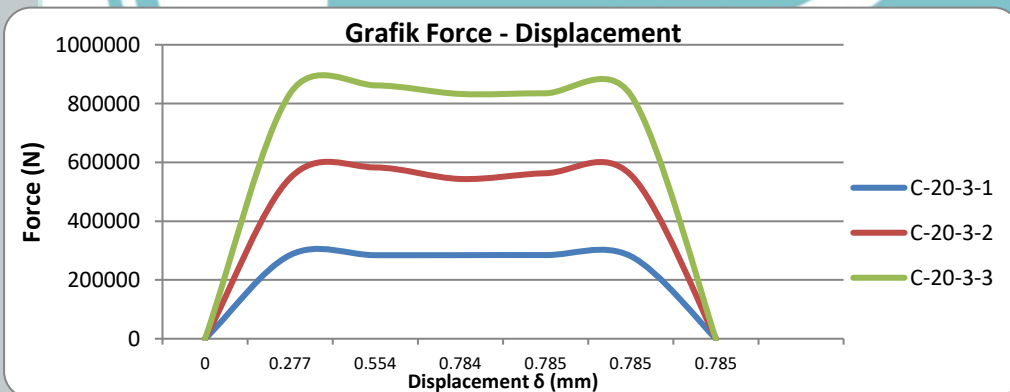
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



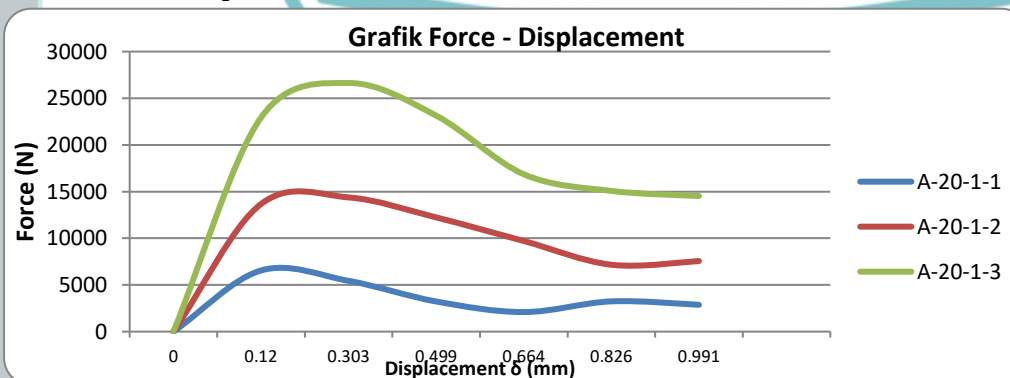
Grafik Force Displacement Crash box Desain 3, Radius 1, 100 Km/h, sudut 0°



Grafik Force Displacement Crash box Desain 3, Radius 2, 100 Km/h, sudut 0°



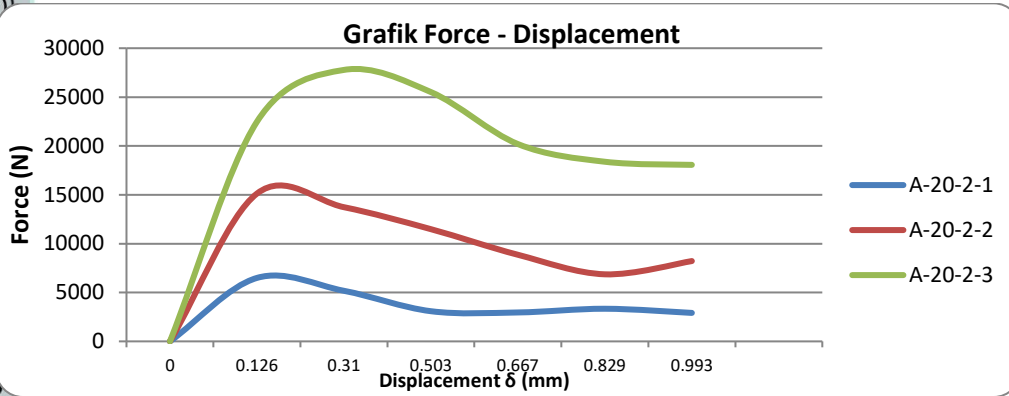
Grafik Force Displacement Crash box Desain 3, Radius 3, 100 Km/h, sudut 0°



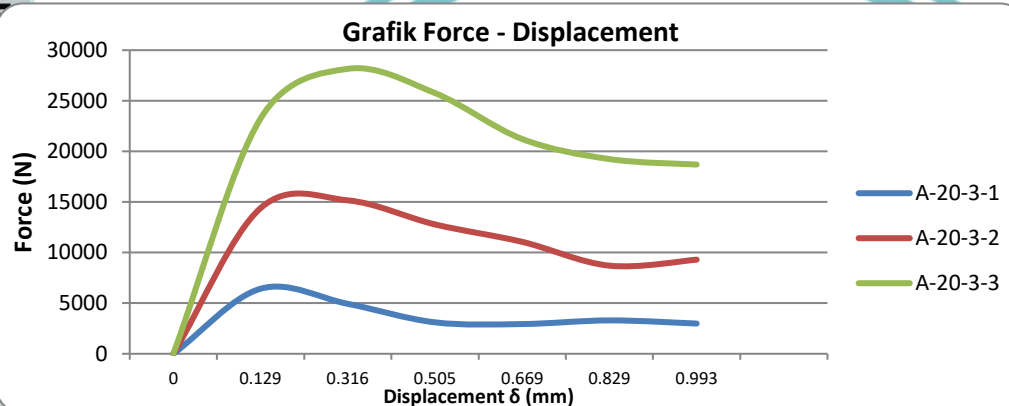
Grafik Force Displacement Crash box Desain 1, Radius 1, 40 Km/h, sudut 45°

Hak Cipta :

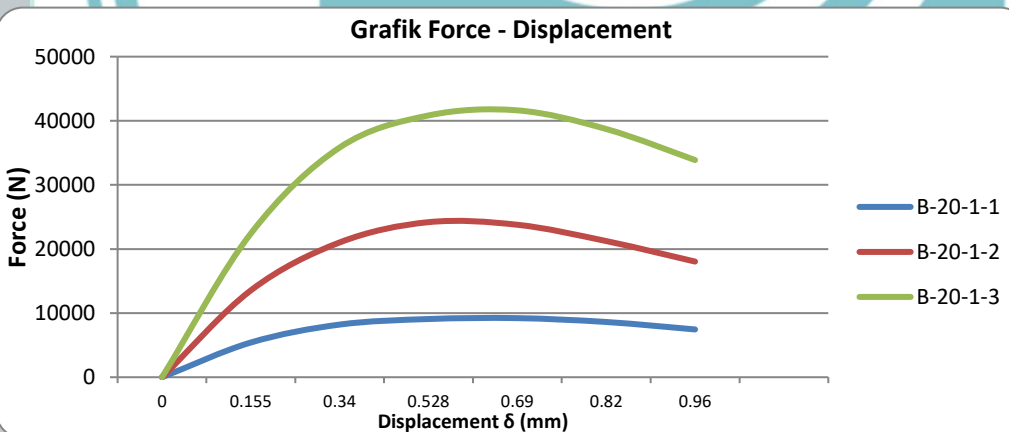
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



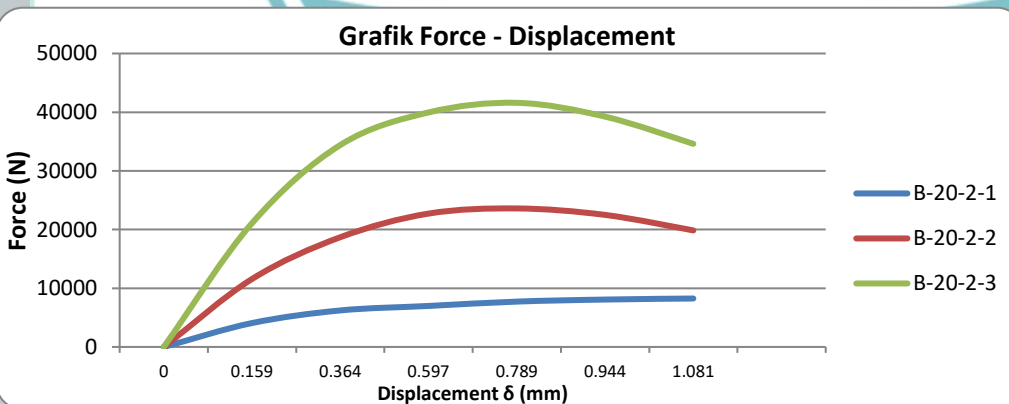
Grafik Force Displacement Crash box Desain 1, Radius 2, 40 Km/h, sudut 45°



Grafik Force Displacement Crash box Desain 1, Radius 3, 40 Km/h, sudut 45°



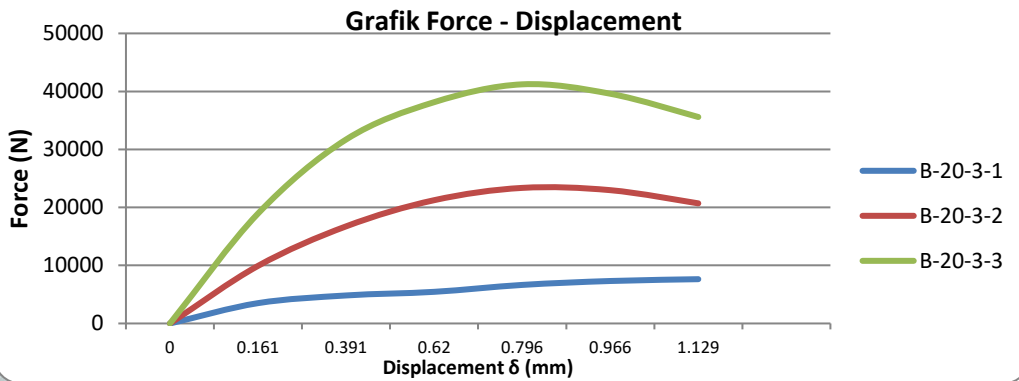
Grafik Force Displacement Crash box Desain 2, Radius 1, 40 Km/h, sudut 45°



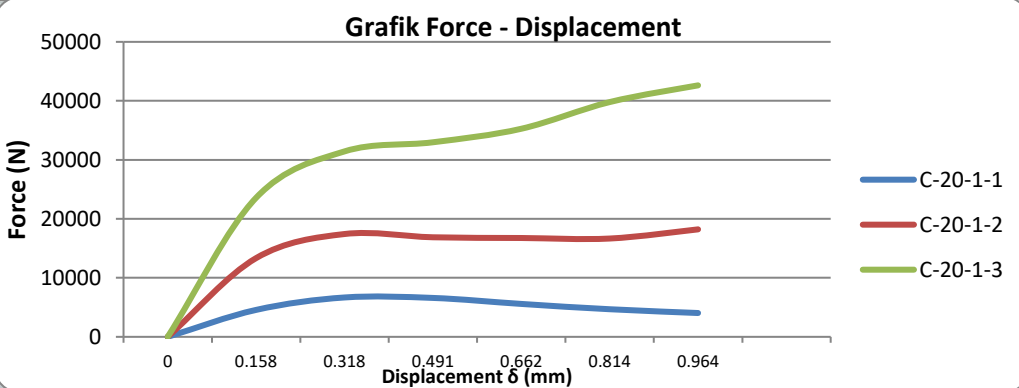
Grafik Force Displacement Crash box Desain 2, Radius 2, 40 Km/h, sudut 45°

Hak Cipta :

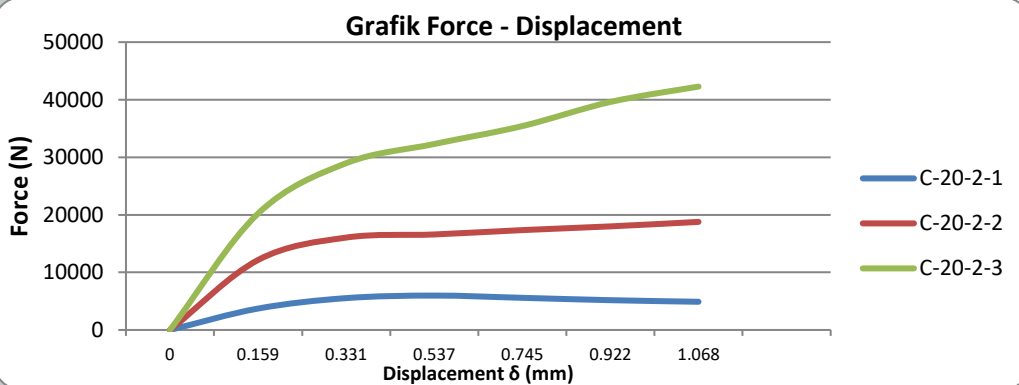
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



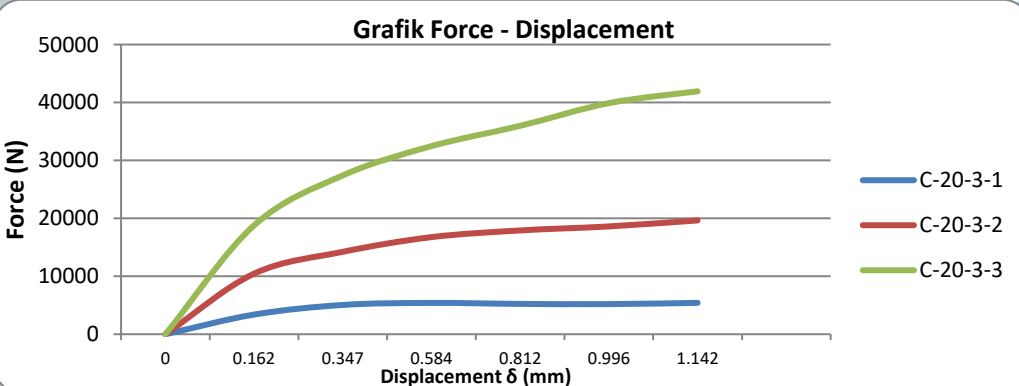
Grafik Force Displacement Crash box Desain 2, Radius 3, 40 Km/h, sudut 45°



Grafik Force Displacement Crash box Desain 3, Radius 1, 40 Km/h, sudut 45°



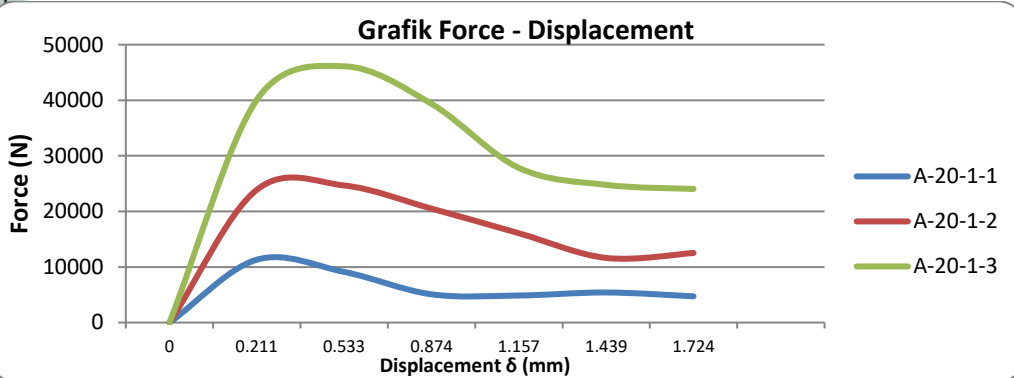
Grafik Force Displacement Crash box Desain 3, Radius 2, 40 Km/h, sudut 45°



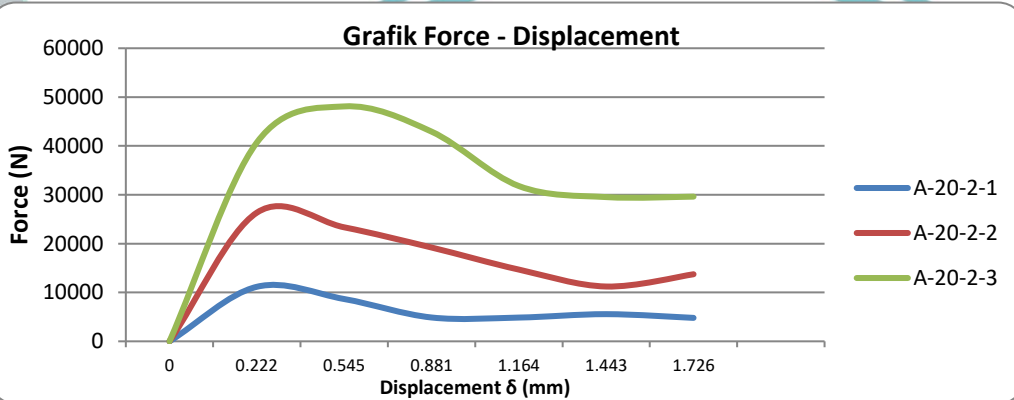
Grafik Force Displacement Crash box Desain 3, Radius 3, 40 Km/h, sudut 45°

Hak Cipta :

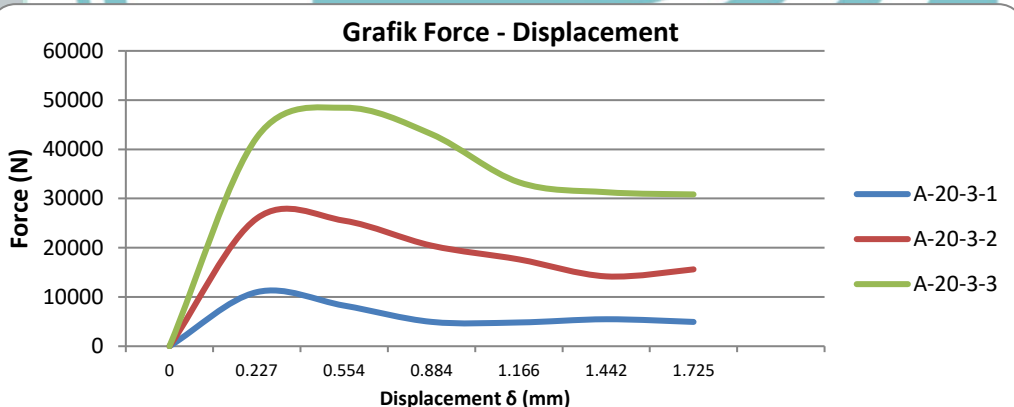
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



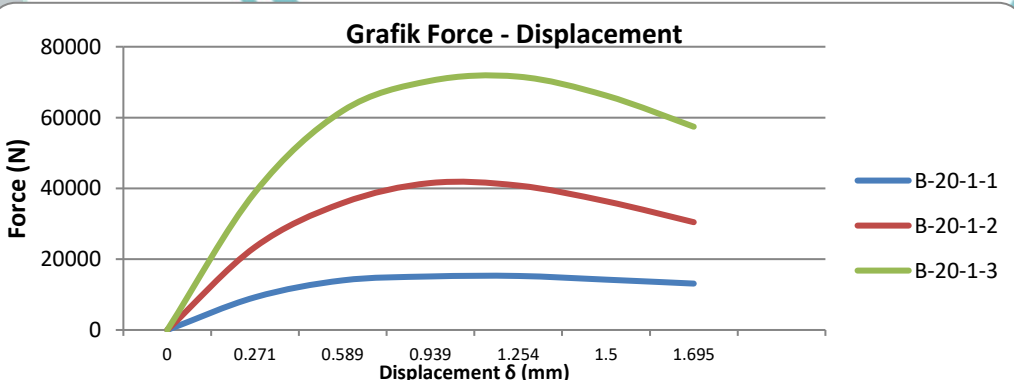
Grafik Force Displacement Crash box Desain 1, Radius 1, 70 Km/h, sudut 45°



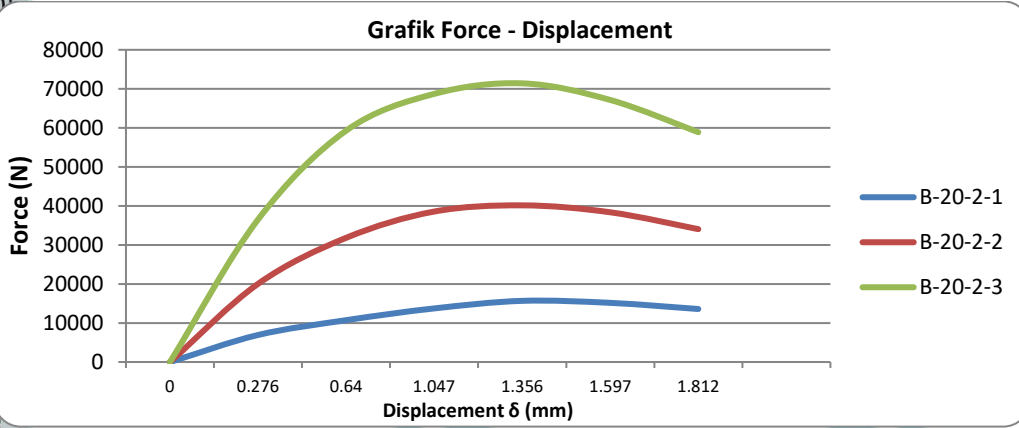
Grafik Force Displacement Crash box Desain 1, Radius 2, 70 Km/h, sudut 45°



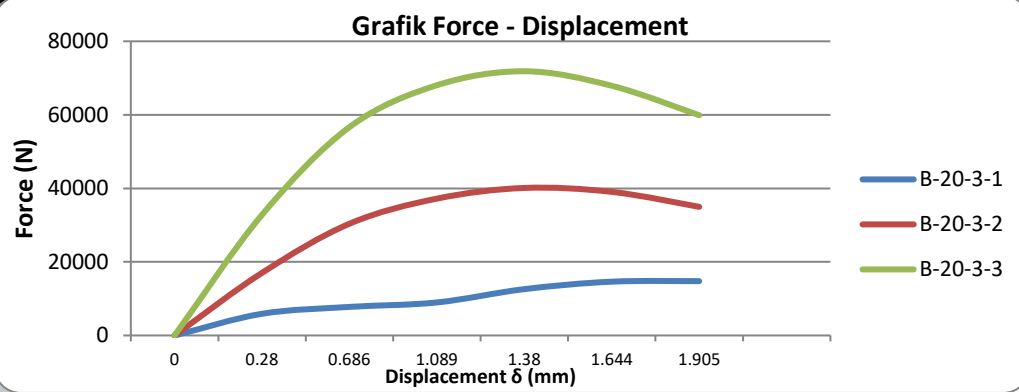
Grafik Force Displacement Crash box Desain 1, Radius 3, 70 Km/h, sudut 45°



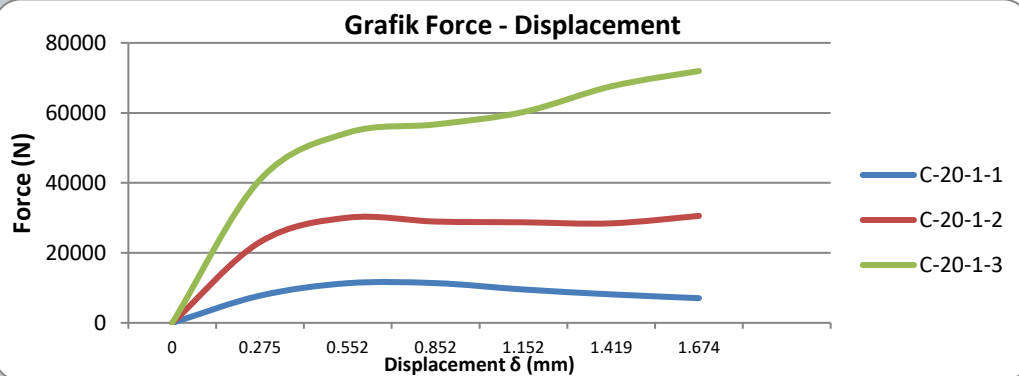
Grafik Force Displacement Crash box Desain 2, Radius 1, 70 Km/h, sudut 45°



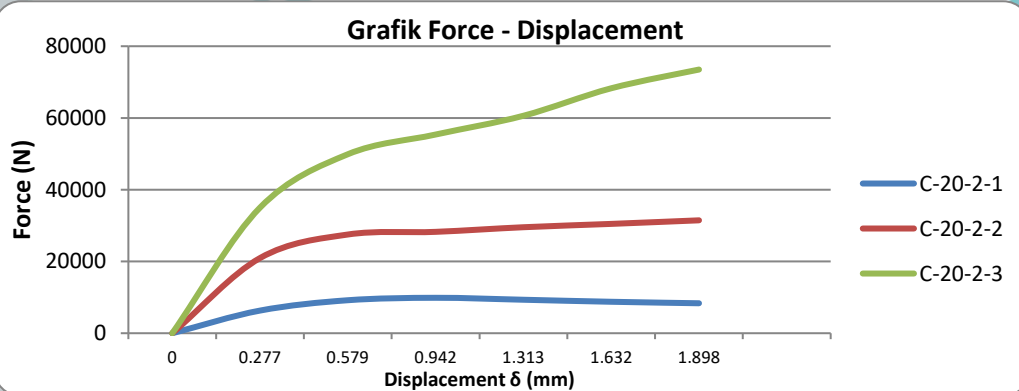
Grafik Force Displacement Crash box Desain 2, Radius 2, 70 Km/h, sudut 45°



Grafik Force Displacement Crash box Desain 2, Radius 3, 70 Km/h, sudut 45°



Grafik Force Displacement Crash box Desain 3, Radius 1, 70 Km/h, sudut 45°



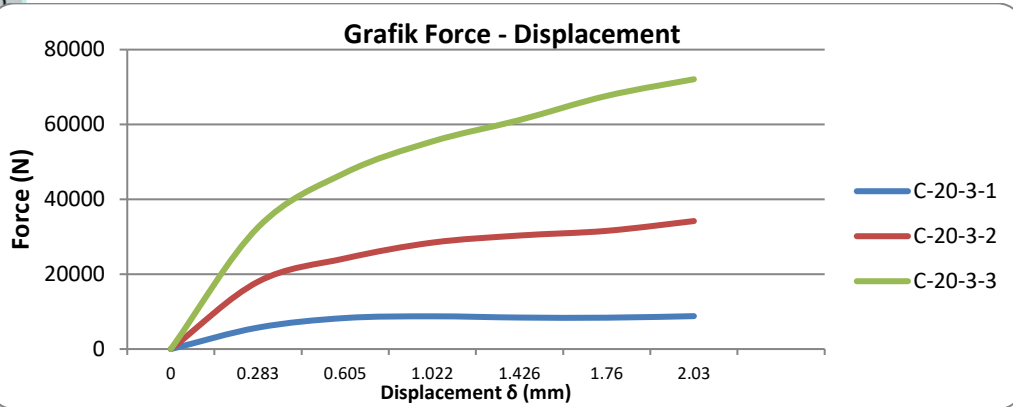
Grafik Force Displacement Crash box Desain 3, Radius 2, 70 Km/h, sudut 45°

Hak Cipta :

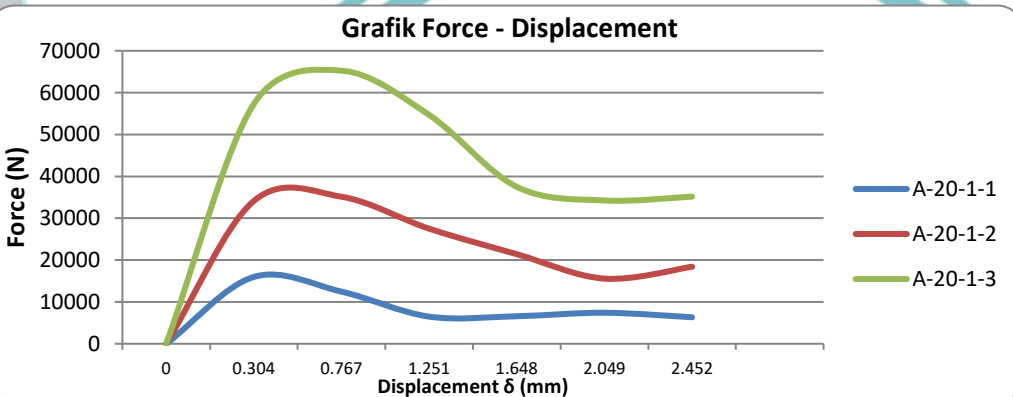
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

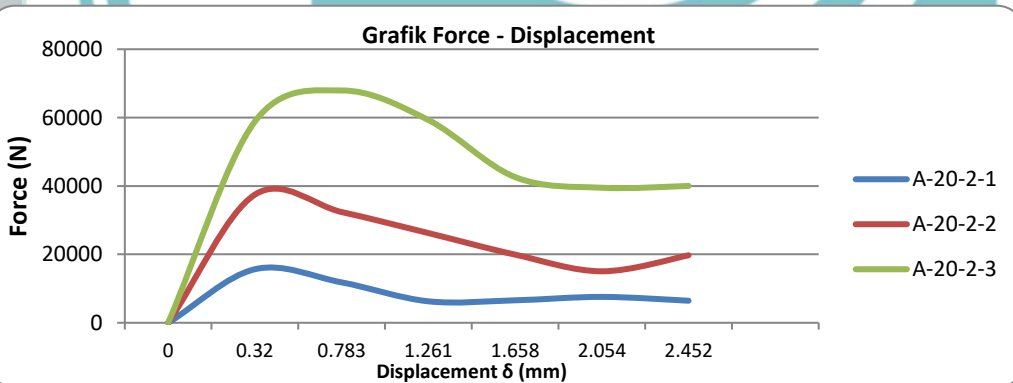
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



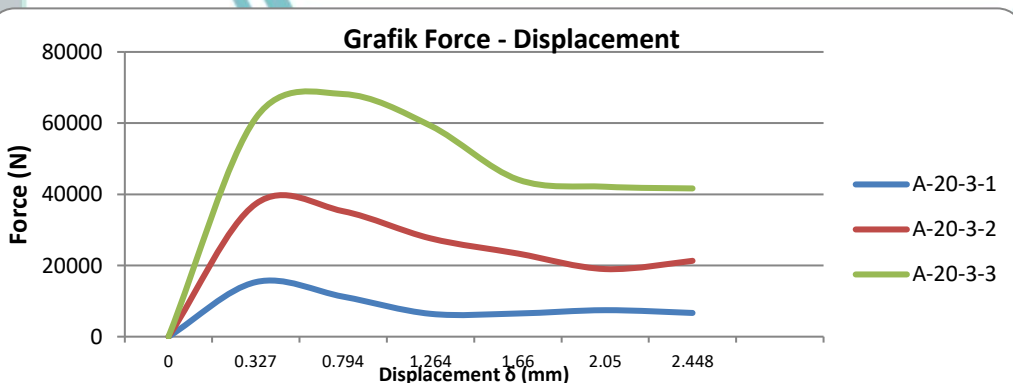
Grafik Force Displacement Crash box Desain 3, Radius 3, 70 Km/h, sudut 45°



Grafik Force Displacement Crash box Desain 1, Radius 1, 100 Km/h, sudut 45°



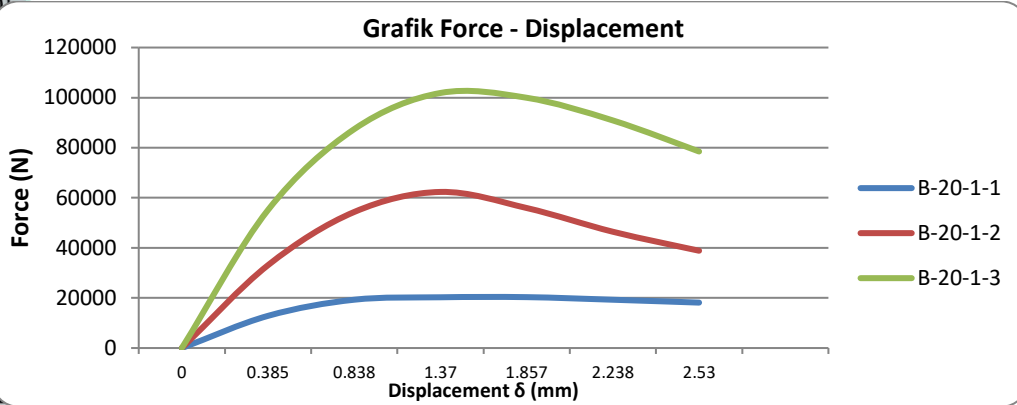
Grafik Force Displacement Crash box Desain 1, Radius 2, 100 Km/h, sudut 45°



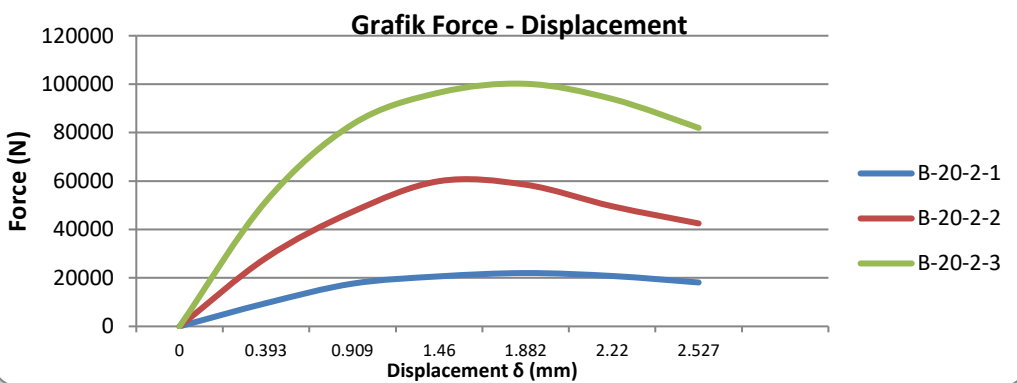
Grafik Force Displacement Crash box Desain 1, Radius 3, 100 Km/h, sudut 45°

Hak Cipta :

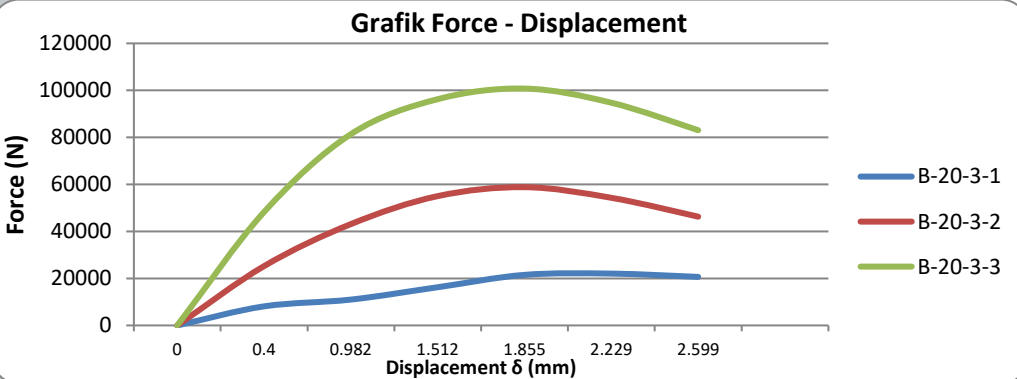
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



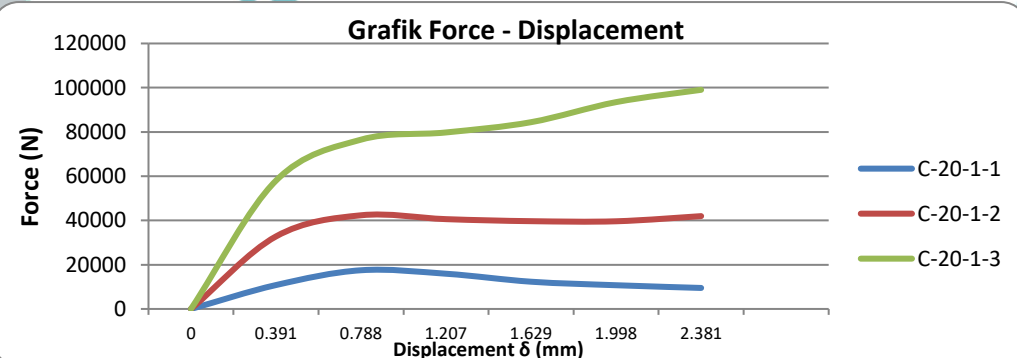
Grafik Force Displacement Crash box Desain 2, Radius 1, 100 Km/h, sudut 45°



Grafik Force Displacement Crash box Desain 2, Radius 2, 100 Km/h, sudut 45°



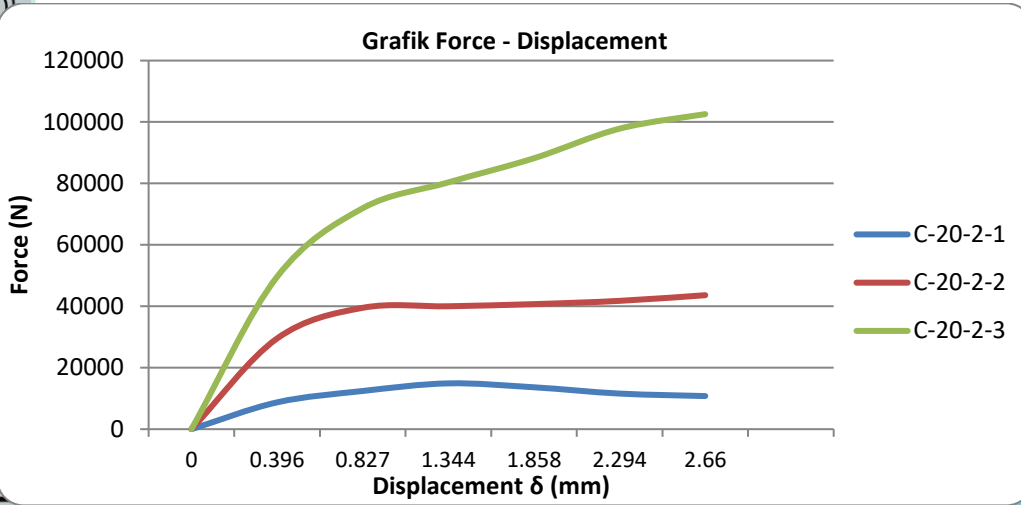
Grafik Force Displacement Crash box Desain 2, Radius 3, 100 Km/h, sudut 45°



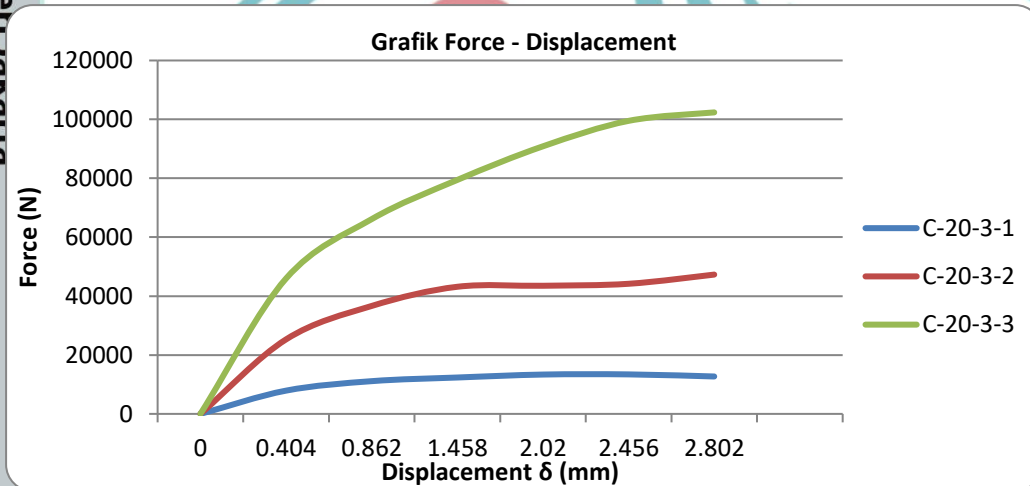
Grafik Force Displacement Crash box Desain 3, Radius 1, 100 Km/h, sudut 45°

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



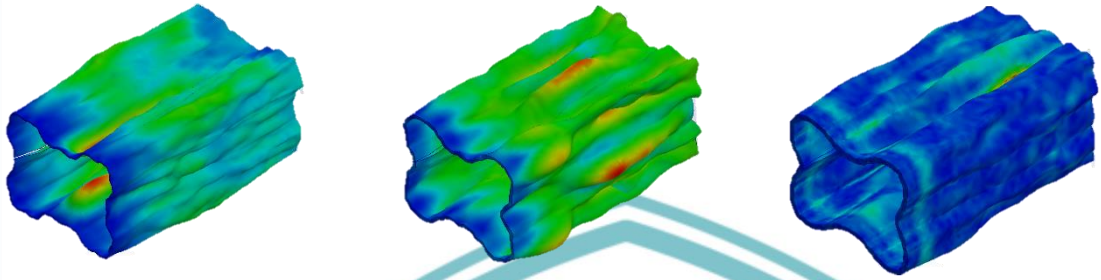
Grafik Force Displacement Crash box Desain 3, Radius 2, 100 Km/h, sudut 45°



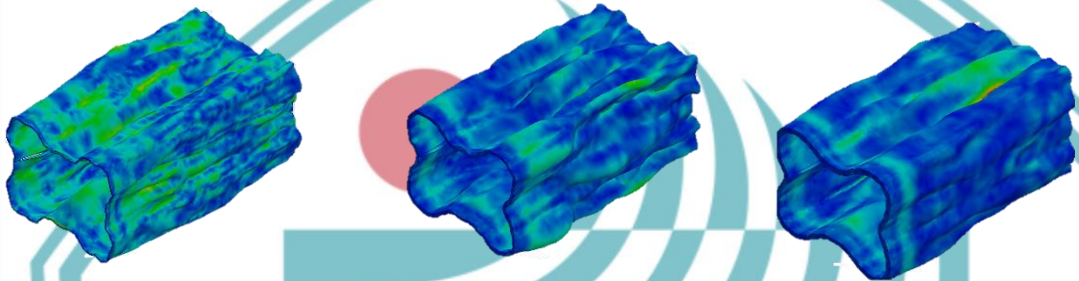
Grafik Force Displacement Crash box Desain 3, Radius 3, 100 Km/h, sudut 45°

Lampiran 2: Deformasi *Crash Box* Seluruh Model Sampel

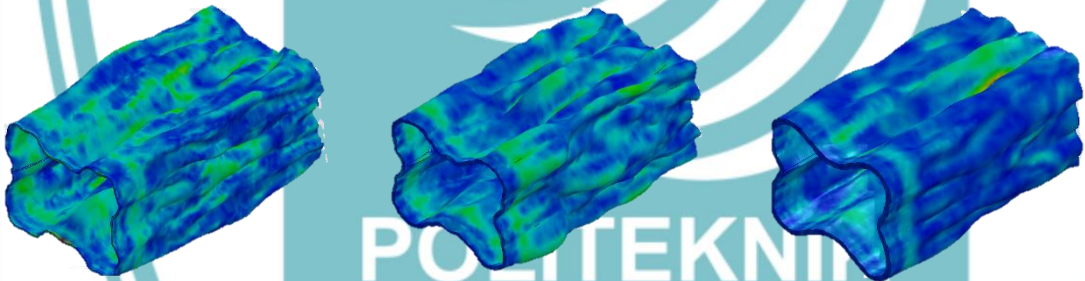
Desain 1, Radius 1 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 40 Km/h, 0 derajat



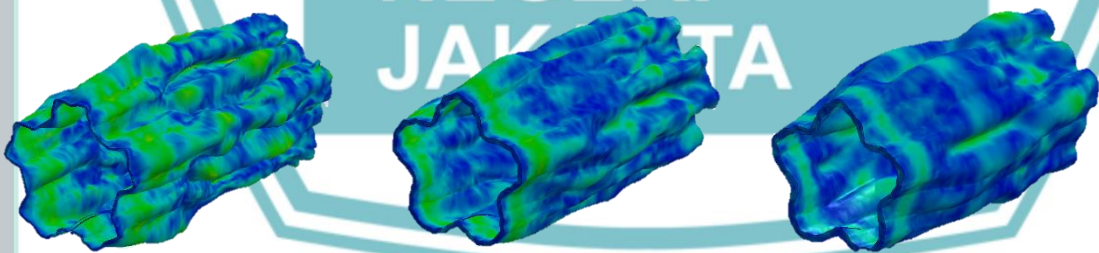
Desain 1, Radius 2 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 40 Km/h, 0 derajat



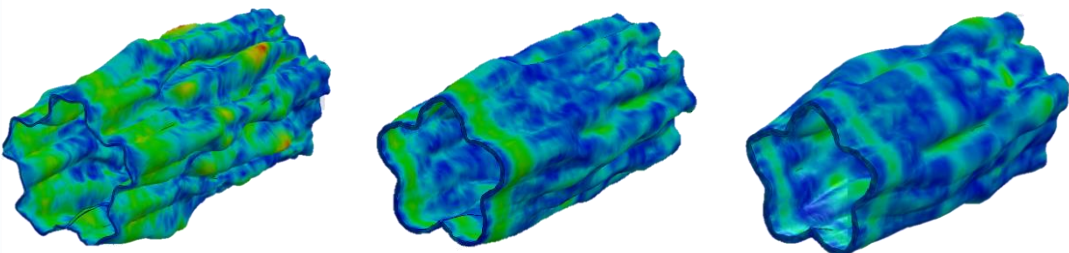
Desain 1 Radius 3 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 40 Km/h, 0 derajat



Desain 2 Radius 1 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 40 Km/h, 0 derajat



Desain 2 Radius 2 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 40 Km/h, 0 derajat



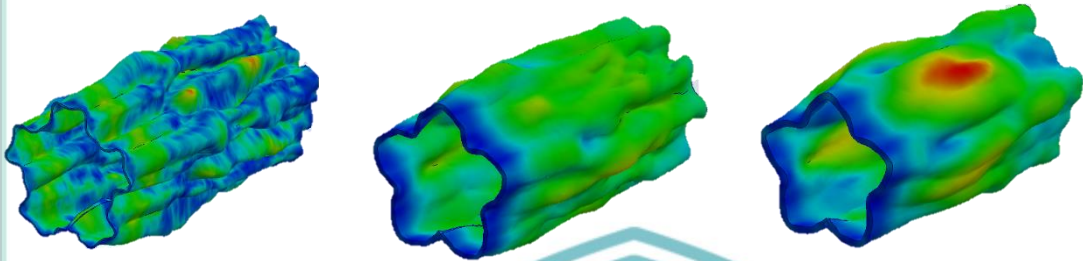
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

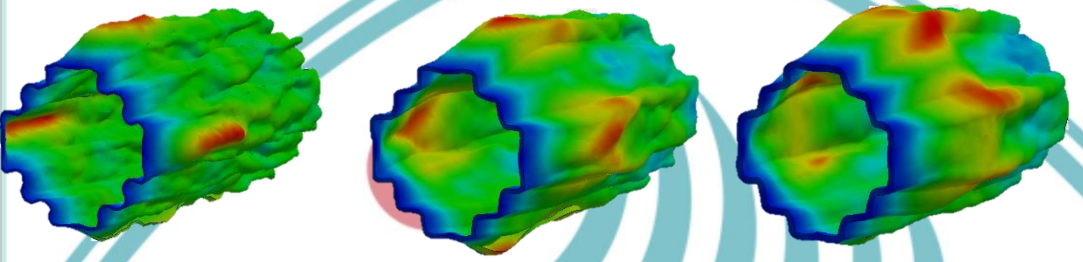
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

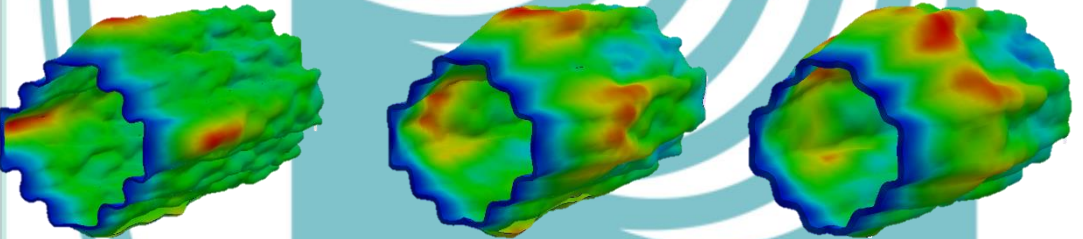
Desain 2 Radius 3 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 40 Km/h, 0 derajat



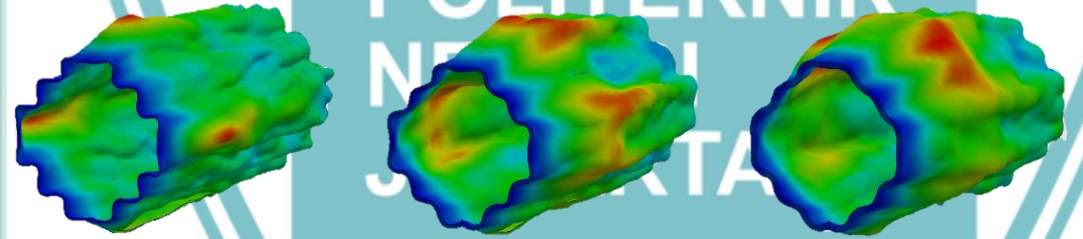
Desain 3 Radius 1 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 40 Km/h, 0 derajat



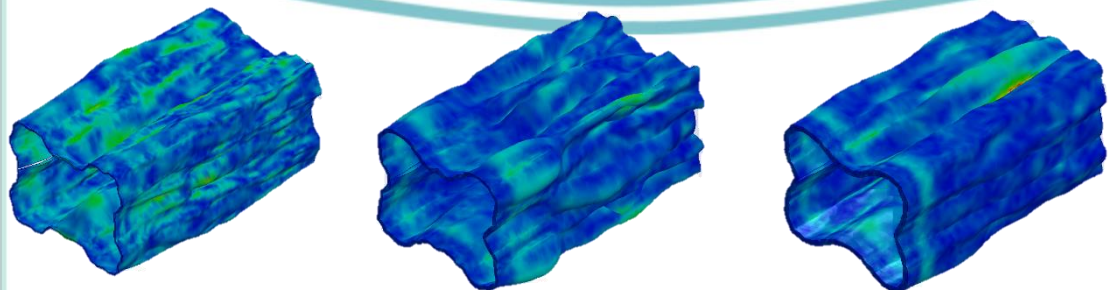
Desain 3 Radius 2 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 40 Km/h, 0 derajat



Desain 3 Radius 3 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 40 Km/h, 0 derajat



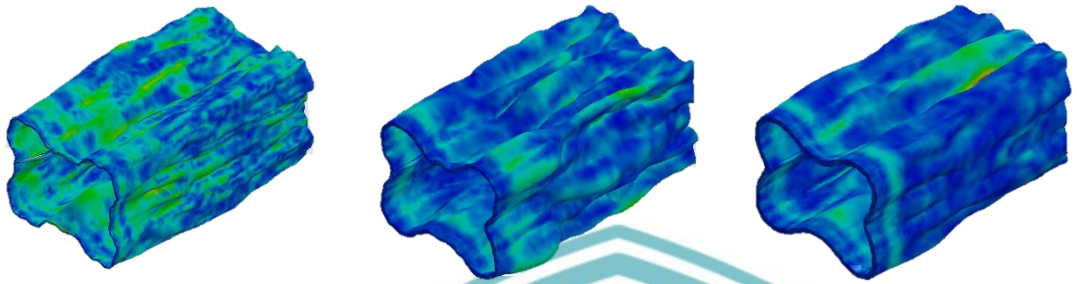
Desain 1 Radius 1 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 70 Km/h, 0 derajat



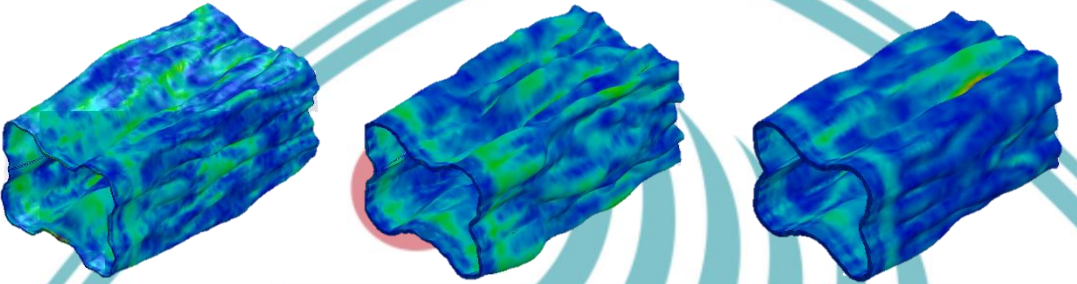
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

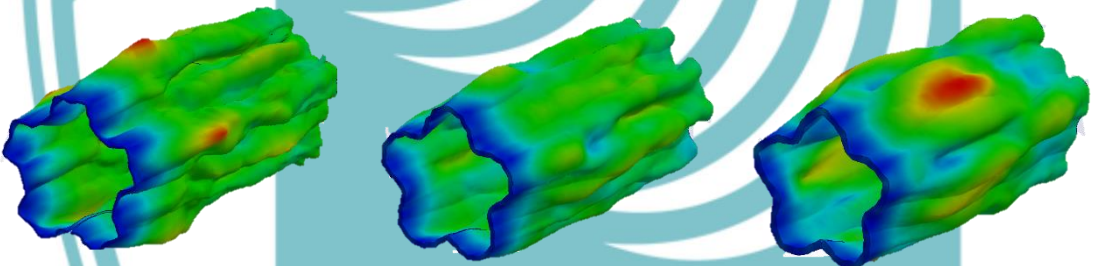
Desain 1 Radius 2 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 70 Km/h, 0 derajat



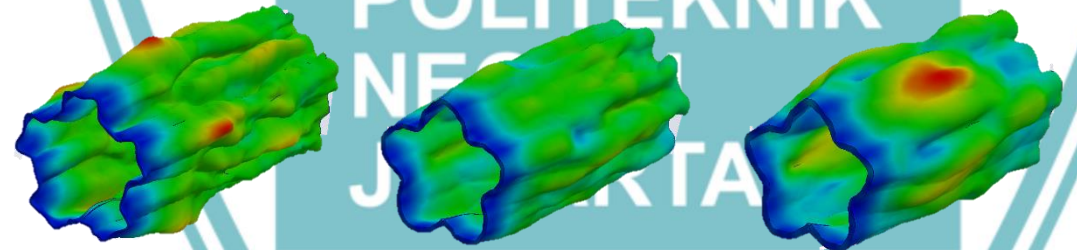
Desain 1 Radius 3 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 70 Km/h, 0 derajat



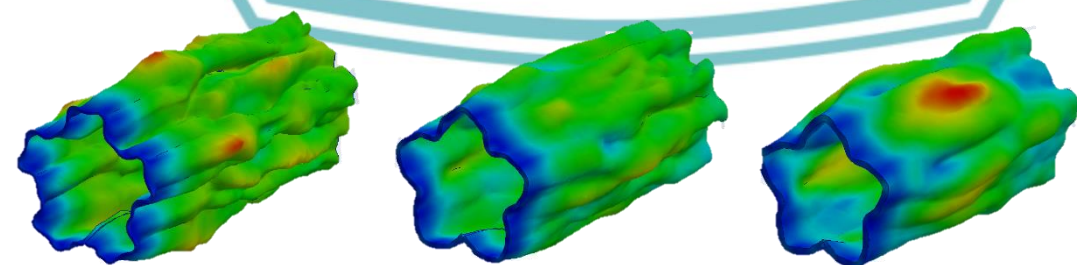
Desain 2 Radius 1 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 70 Km/h, 0 derajat



Desain 2 Radius 2 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 70 Km/h, 0 derajat

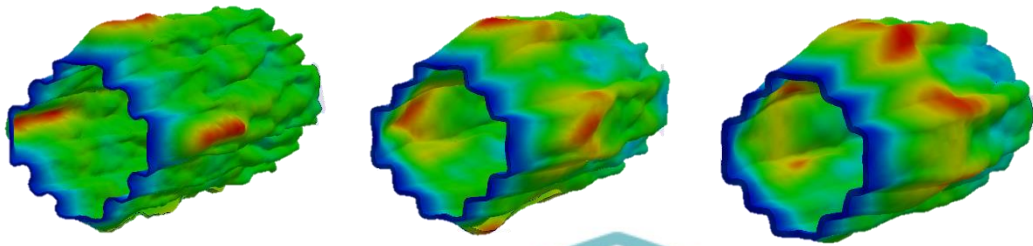


Desain 2 Radius 3 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 70 Km/h, 0 derajat

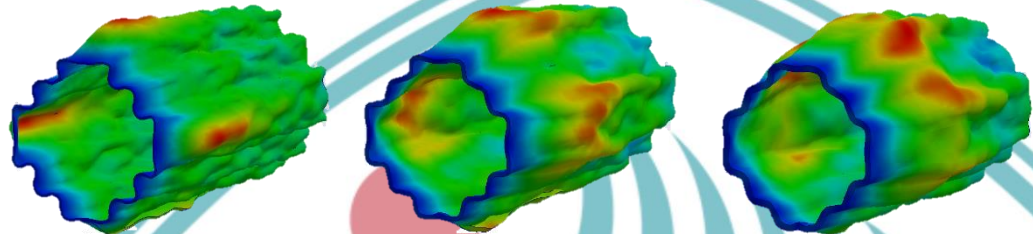


- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

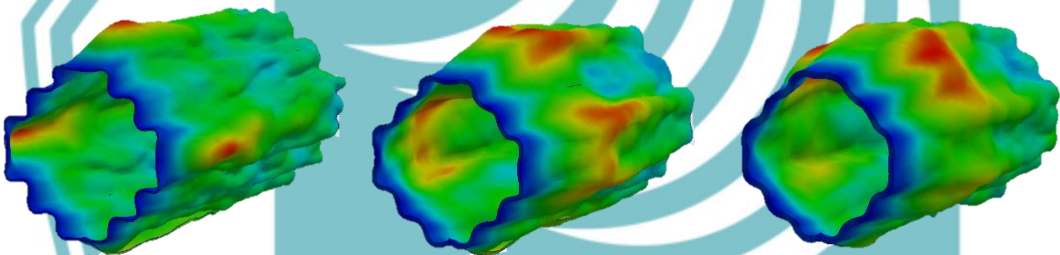
Desain 3 Radius 1 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 70 Km/h, 0 derajat



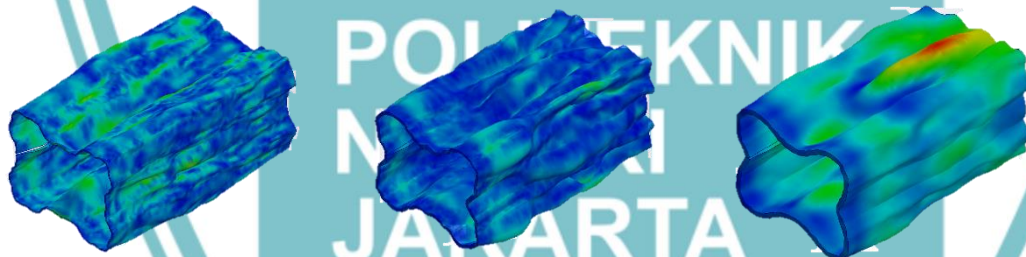
Desain 3 Radius 2 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 70 Km/h, 0 derajat



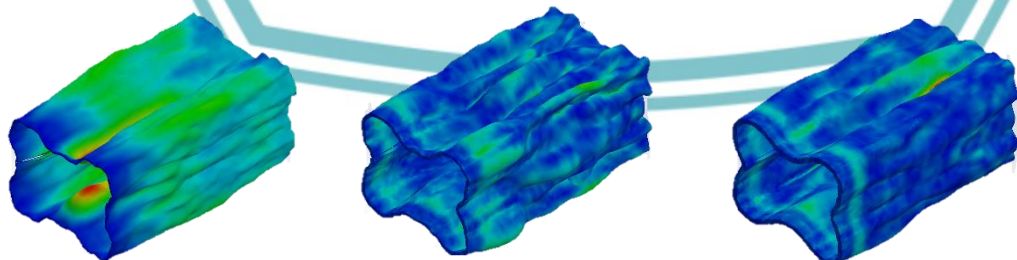
Desain 3 Radius 3 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 70 Km/h, 0 derajat



Desain 1 Radius 1 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 100 Km/h, 0 derajat



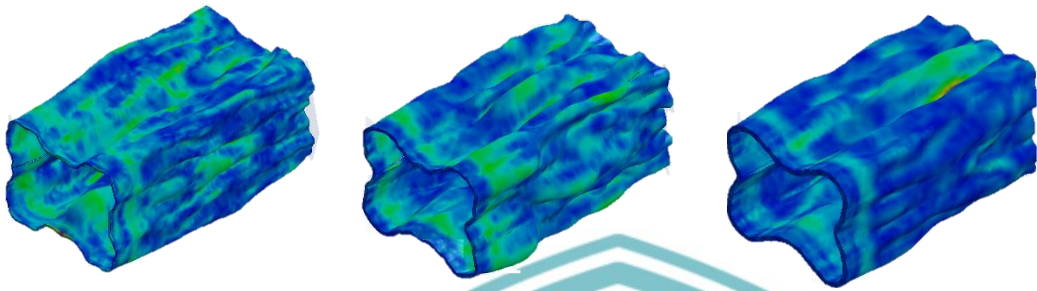
Desain 1 Radius 2 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 100 Km/h, 0 derajat



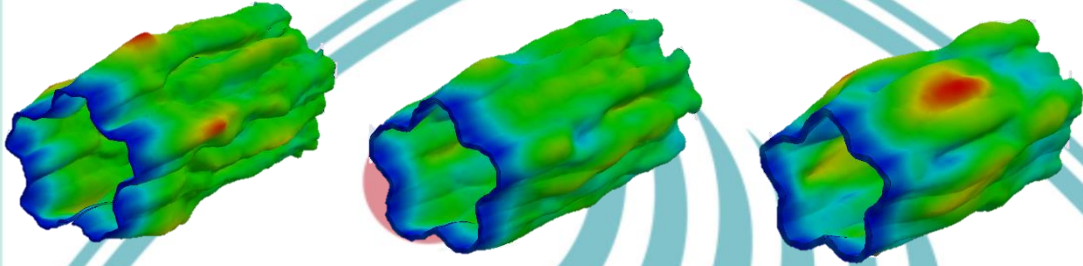
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

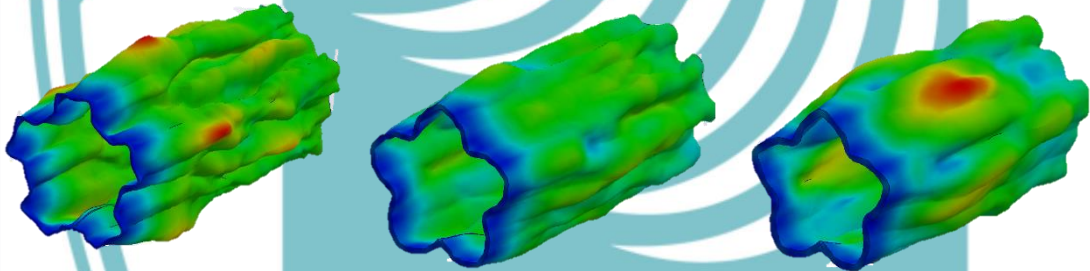
Desain 1 Radius 3 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 100 Km/h, 0 derajat



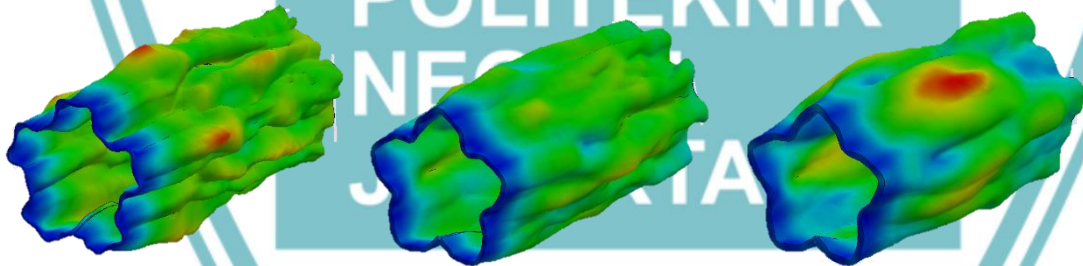
Desain 2 Radius 1 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 100 Km/h, 0 derajat



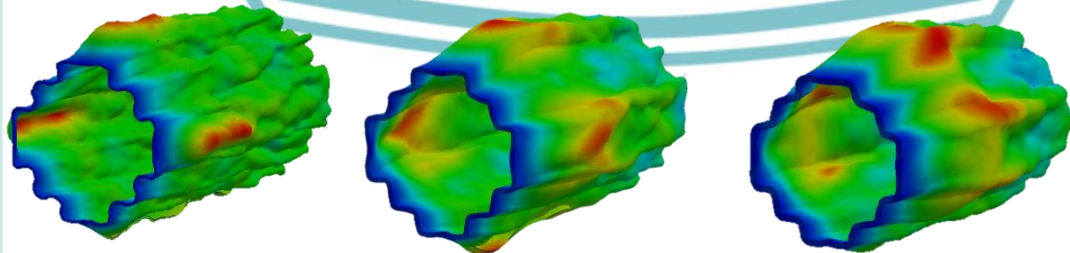
Desain 2 Radius 2 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 100 Km/h, 0 derajat



Desain 2 Radius 3 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 100 Km/h, 0 derajat

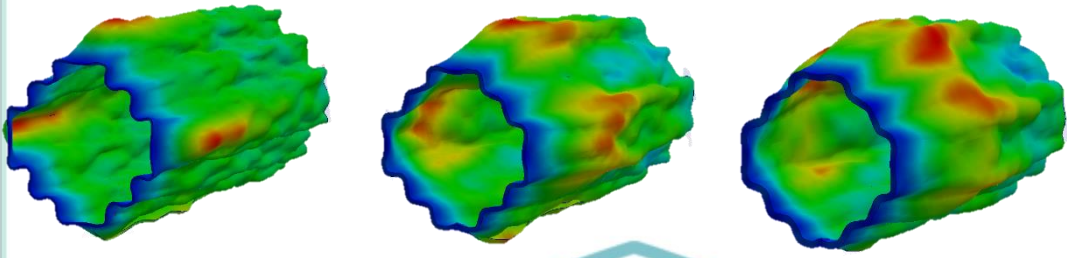


Desain 3 Radius 1 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 100 Km/h, 0 derajat

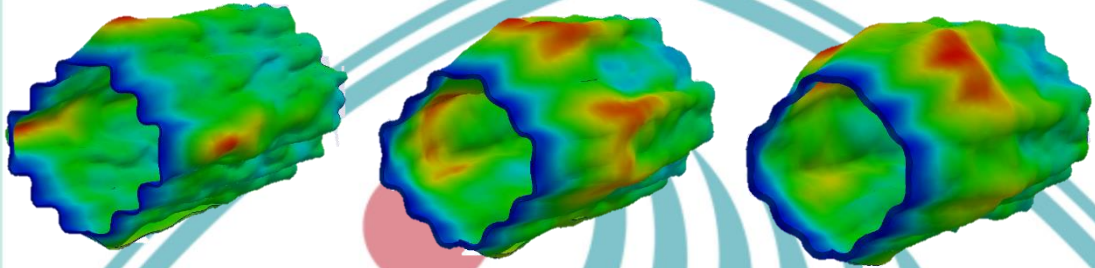


- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

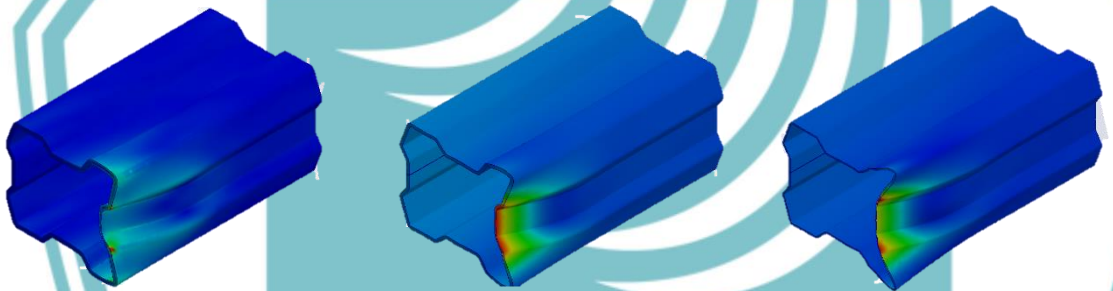
Desain 3 Radius 2 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 100 Km/h, 0 derajat



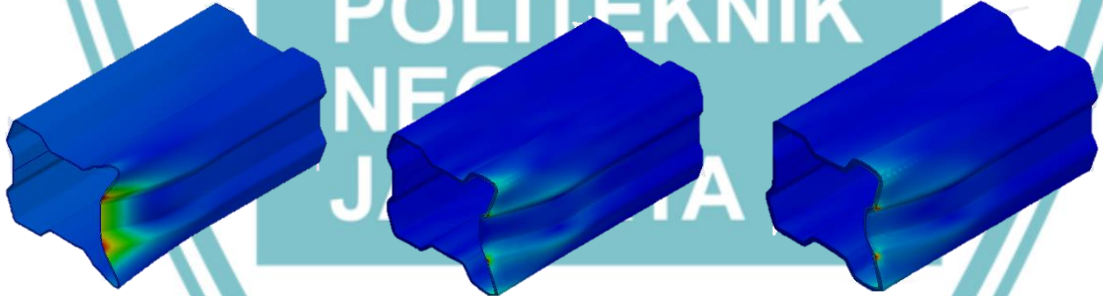
Desain 3 Radius 3 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 100 Km/h, 0 derajat



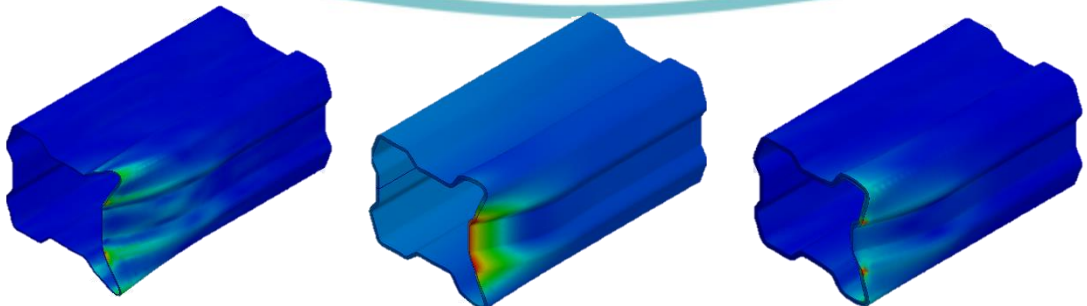
Desain 1 Radius 1 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 40 Km/h, 45 derajat



Desain 1 Radius 2 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 40 Km/h, 45 derajat



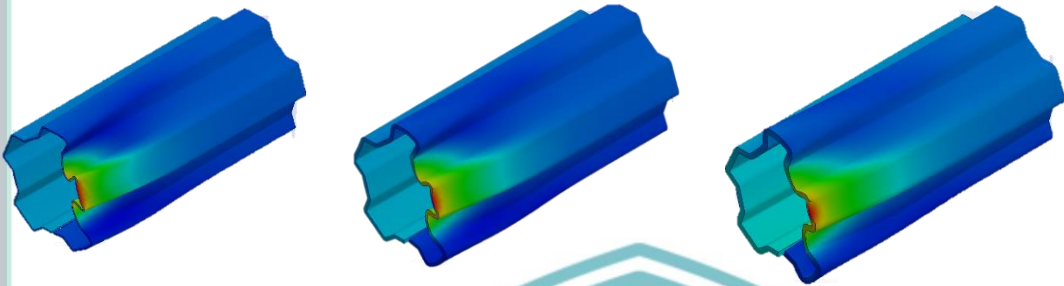
Desain 1 Radius 3 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 40 Km/h, 45 derajat



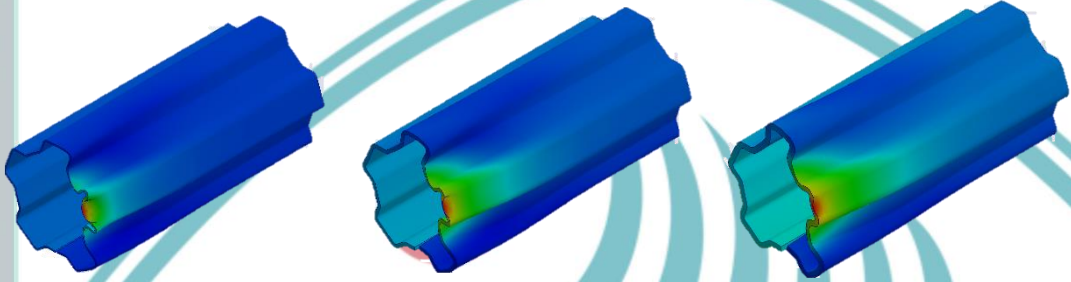
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

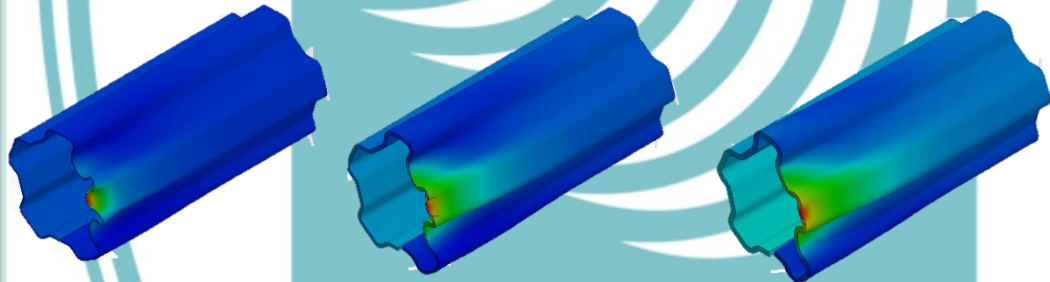
Desain 2 Radius 1 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 40 Km/h, 45 derajat



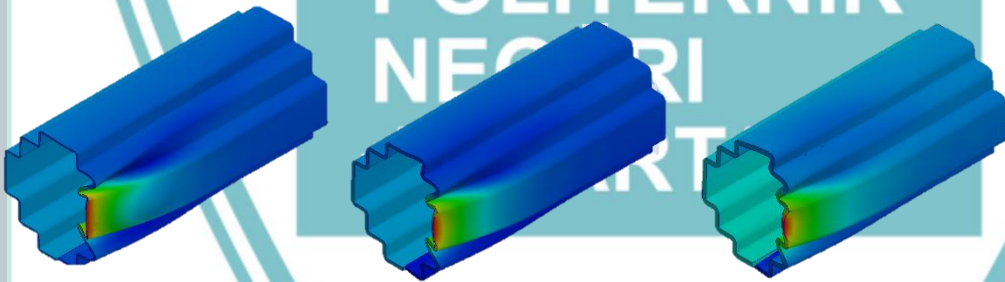
Desain 2 Radius 2 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 40 Km/h, 45 derajat



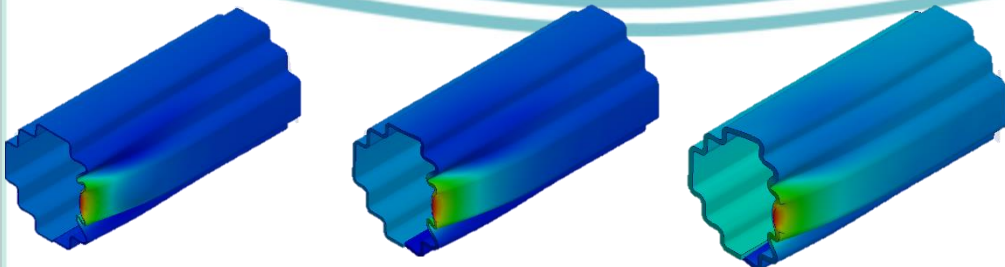
Desain 2 Radius 3 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 40 Km/h, 45 derajat



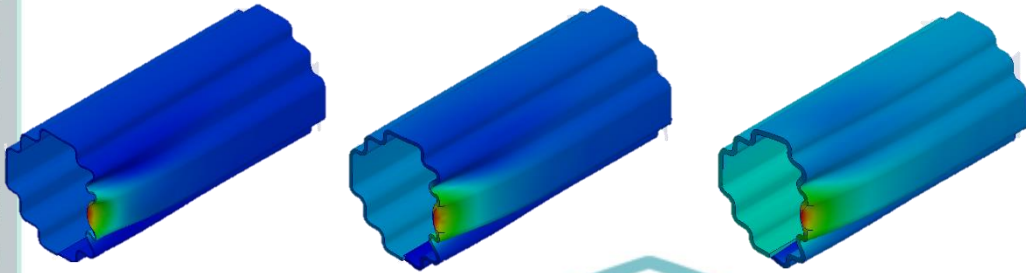
Desain 3 Radius 1 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 40 Km/h, 45 derajat



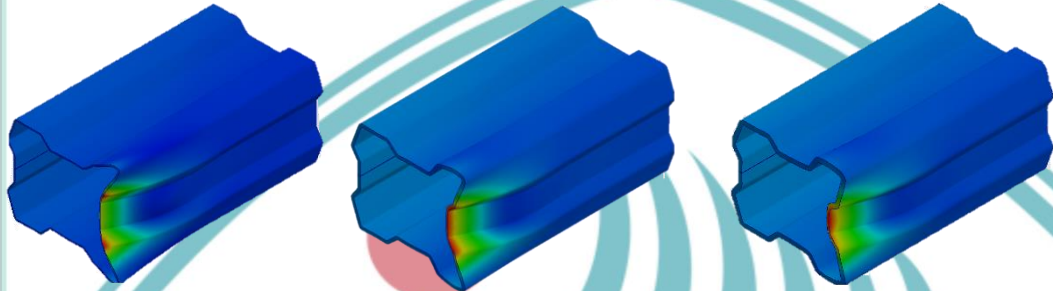
Desain 3 Radius 2 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 40 Km/h, 45 derajat



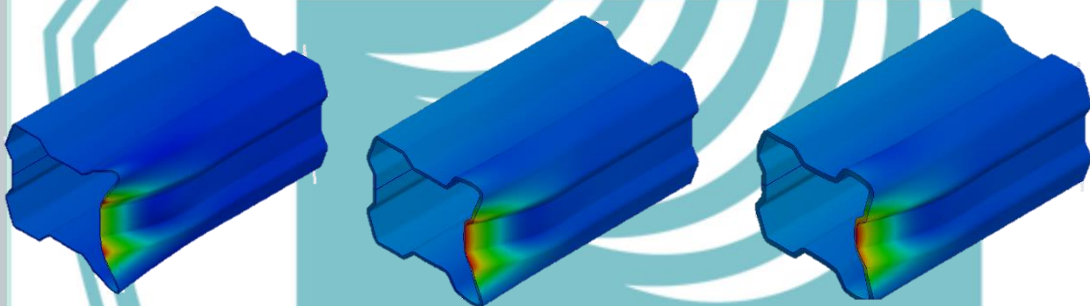
Desain 3 Radius 3 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 40 Km/h, 45 derajat



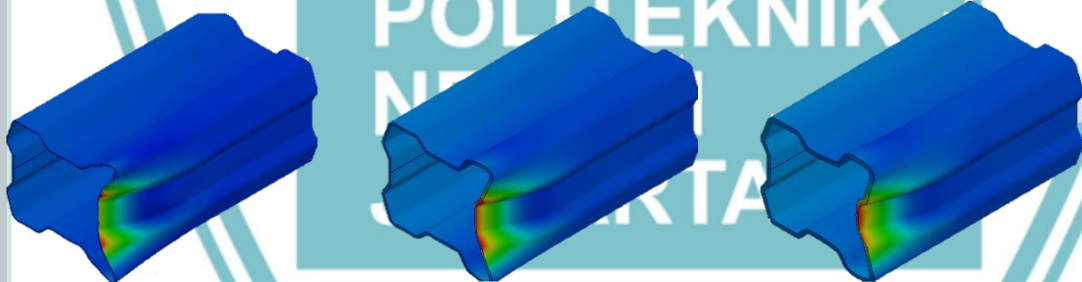
Desain 1 Radius 1 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 70 Km/h, 45 derajat



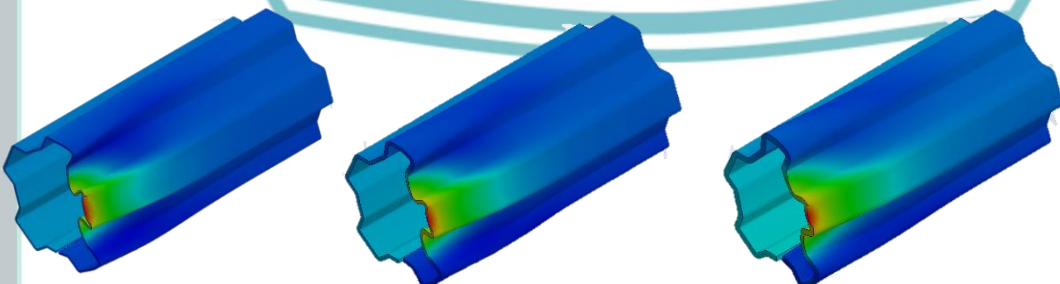
Desain 1 Radius 2 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 70 Km/h, 45 derajat



Desain 1 Radius 3 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 70 Km/h, 45 derajat



Desain 2 Radius 1 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 70 Km/h, 45 derajat



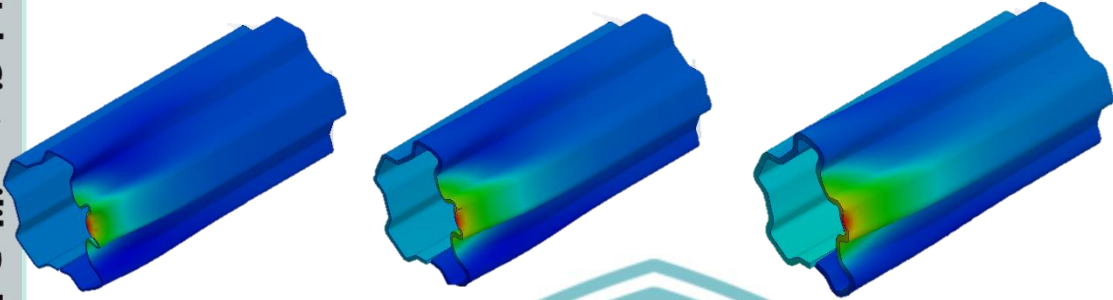
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

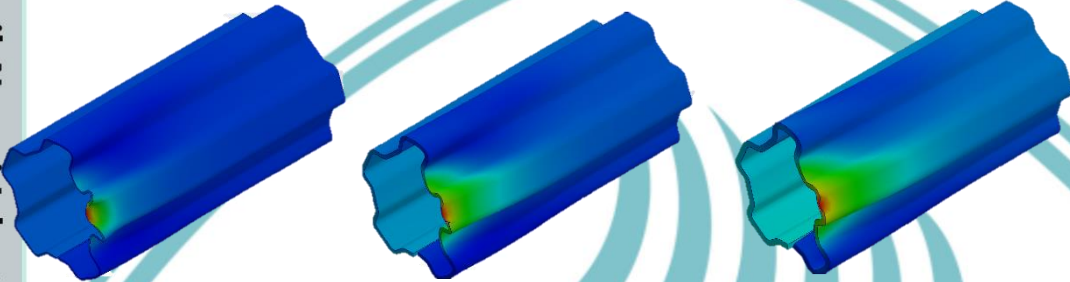
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

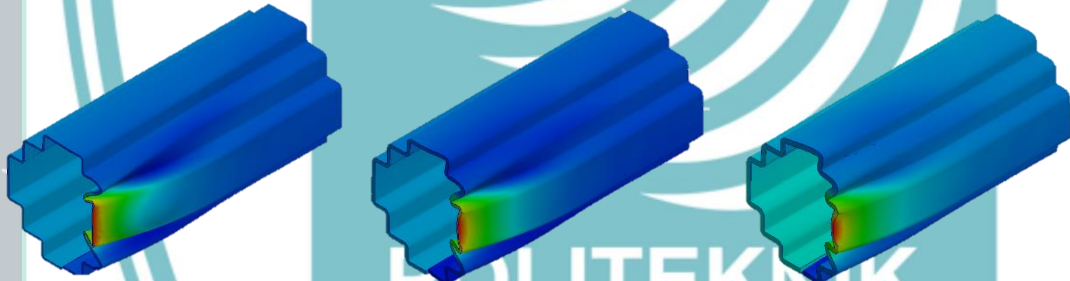
Desain 2 Radius 2 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 70 Km/h, 45 derajat



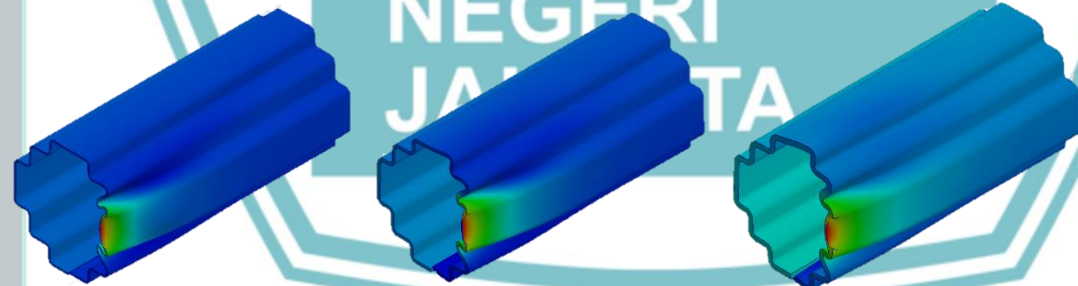
Desain 2 Radius 3 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 70 Km/h, 45 derajat



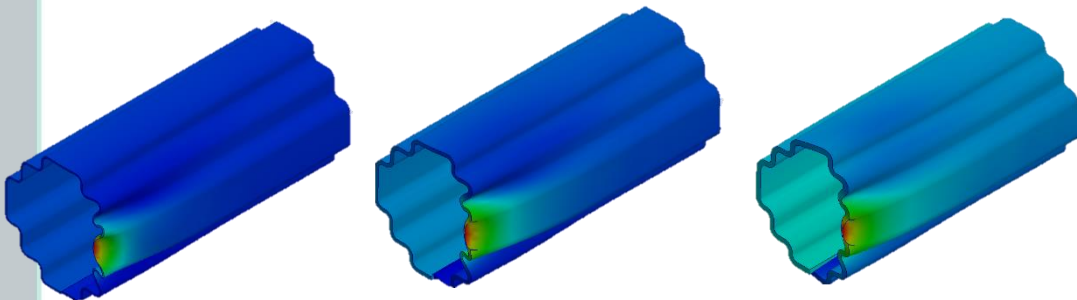
Desain 3 Radius 1 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 70 Km/h, 45 derajat



Desain 3 Radius 2 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 70 Km/h, 45 derajat



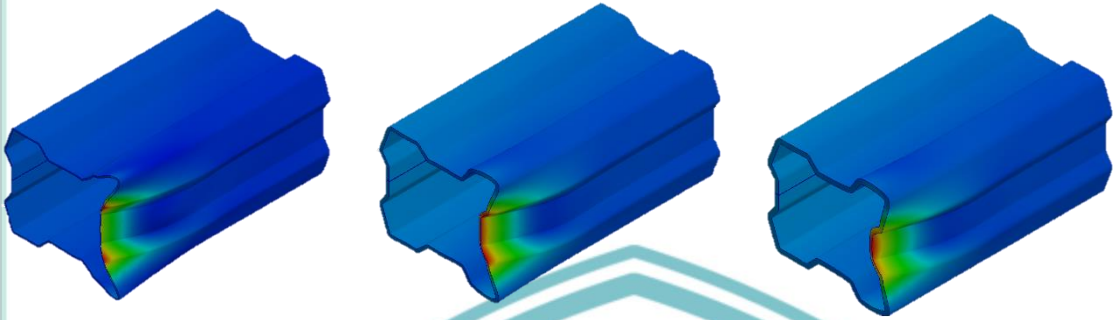
Desain 3 Radius 3 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 70 Km/h, 45 derajat



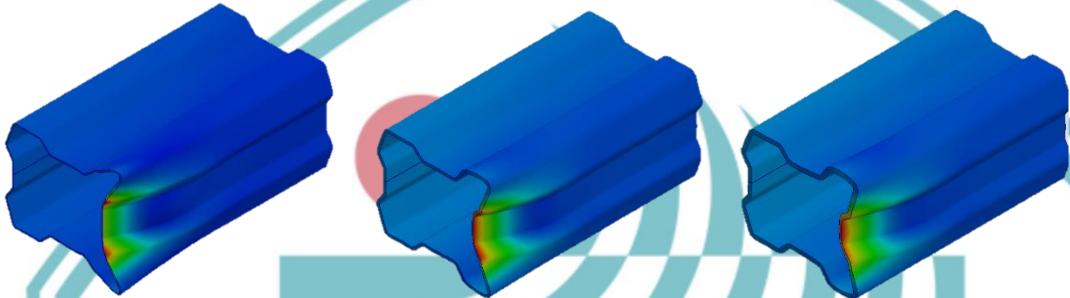
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

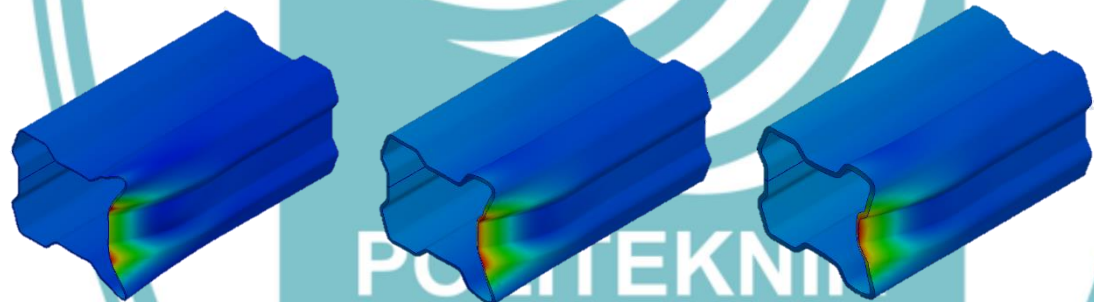
Desain 1 Radius 1 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 100 Km/h, 45 derajat



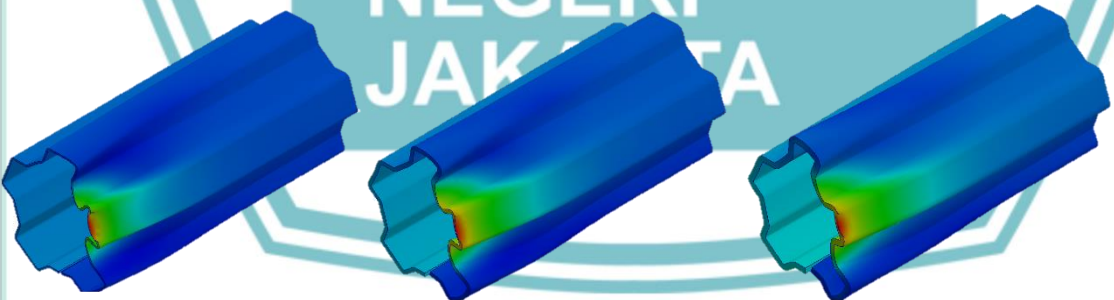
Desain 1 Radius 2 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 100 Km/h, 45 derajat



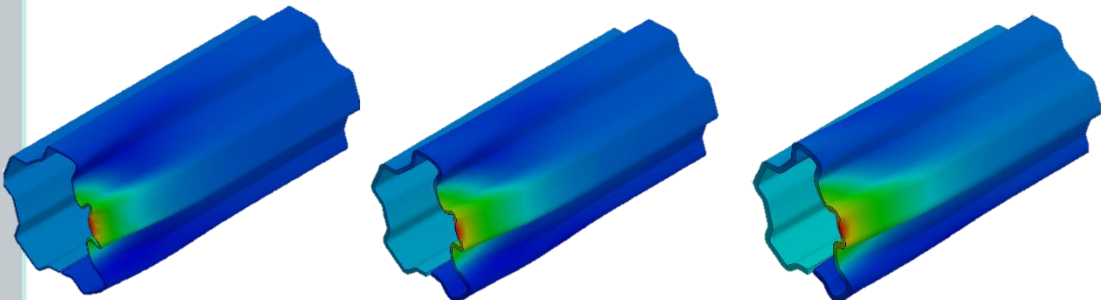
Desain 1 Radius 3 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 100 Km/h, 45 derajat



Desain 2 Radius 1 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 100 Km/h, 45 derajat



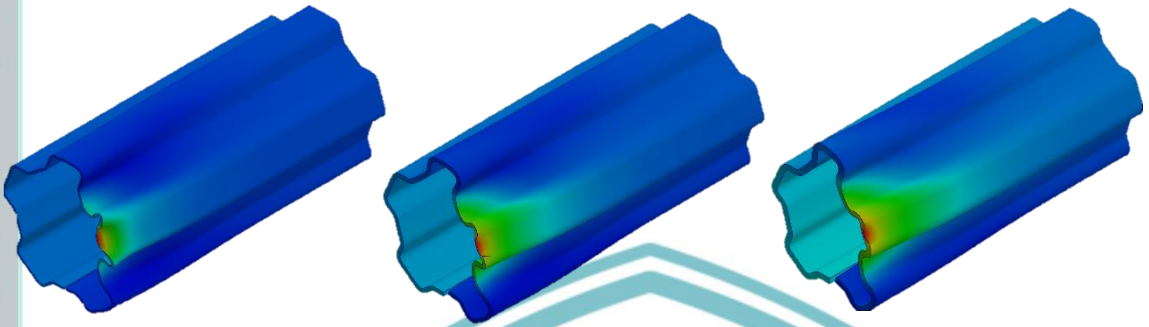
Desain 2 Radius 2 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 100 Km/h, 45 derajat



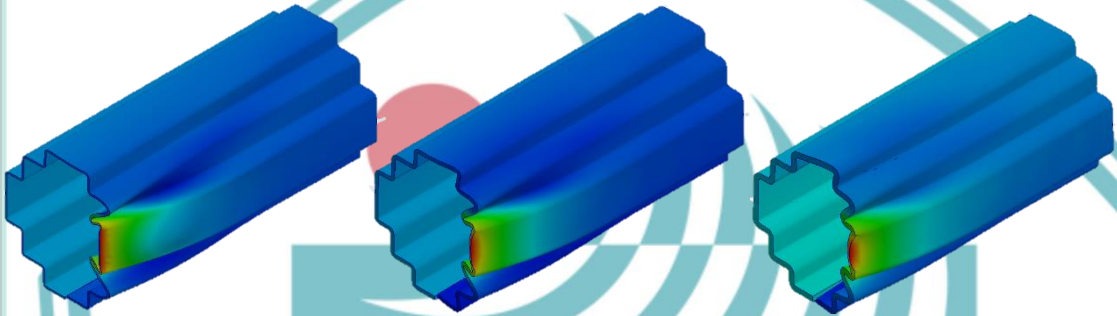
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

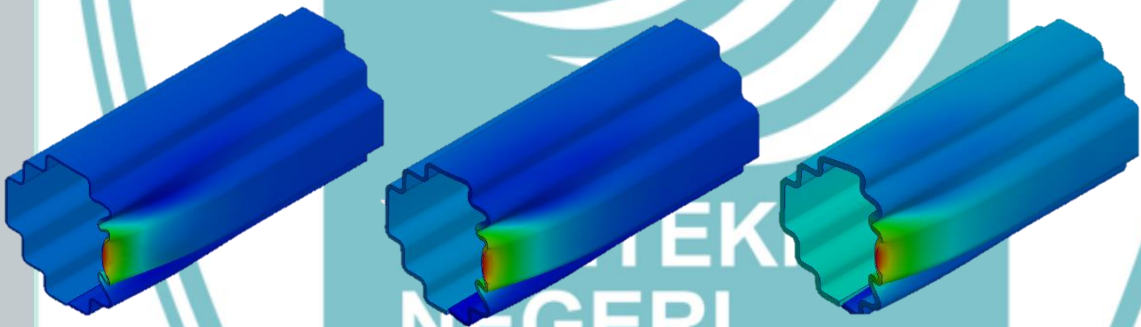
Desain 2 Radius 3 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 100 Km/h, 45 derajat



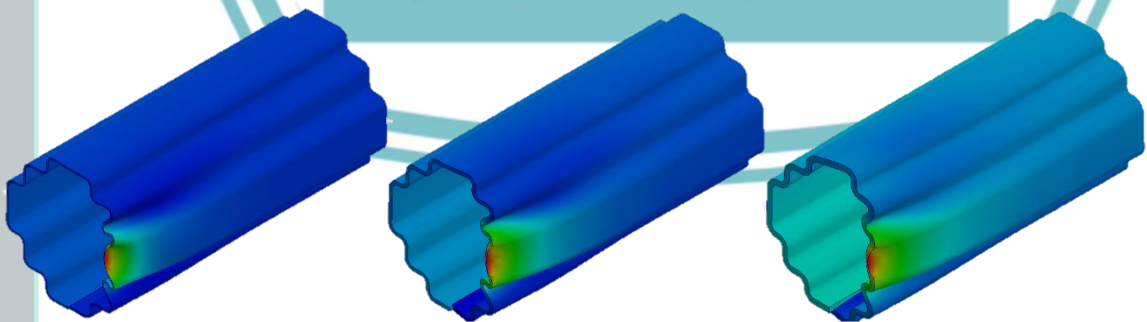
Desain 3 Radius 1 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 100 Km/h, 45 derajat



Desain 3 Radius 2 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 100 Km/h, 45 derajat

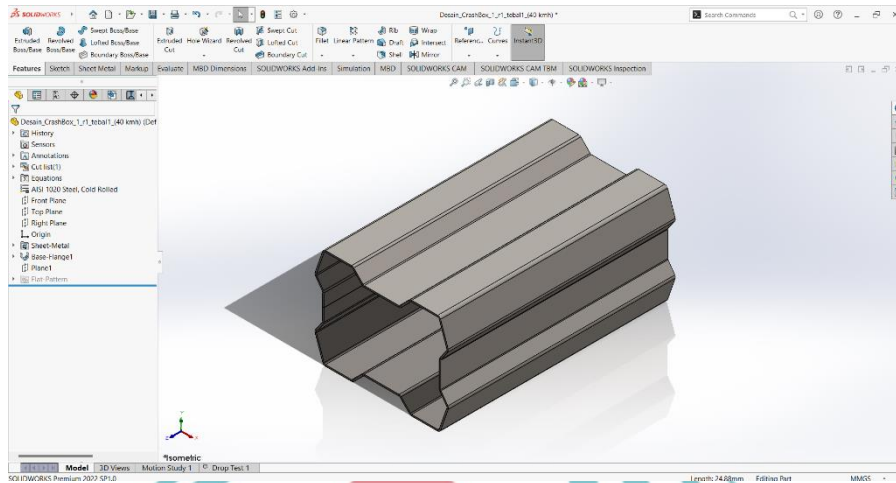


Desain 3 Radius 3 mm, Tebal 1, 2, 3 mm, 100 Km/h, 45 derajat

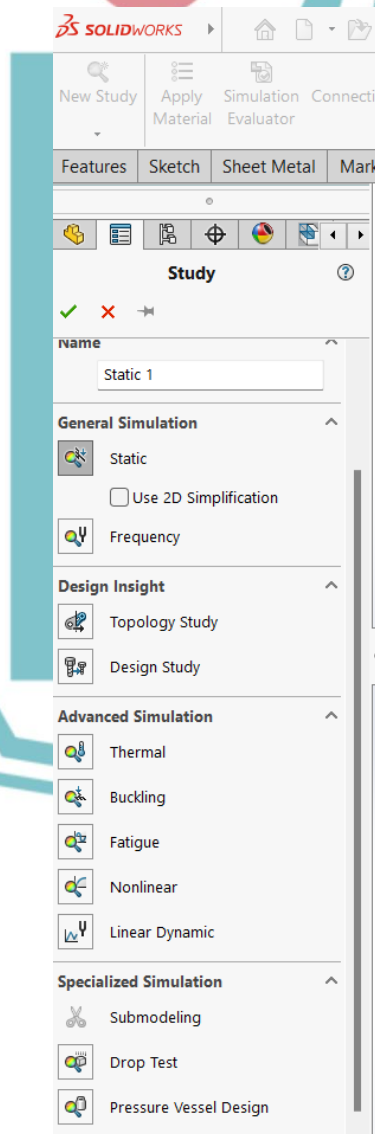


Lampiran 3: Tahap-tahap Simulasi *Drop Test Velocity* di Solidworks

1. Siapkan 3D desain *crash box*



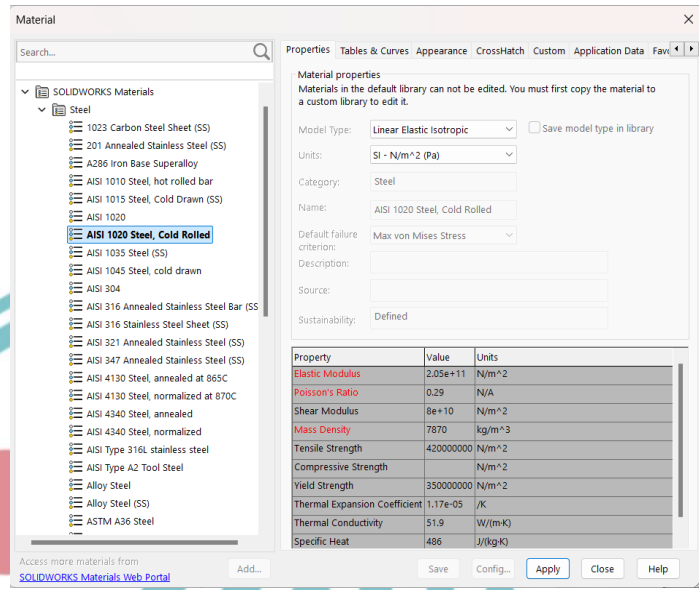
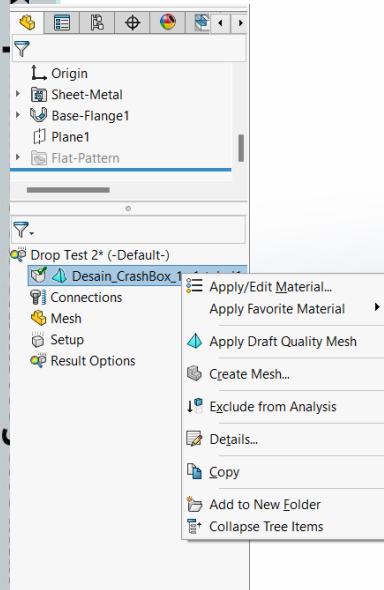
2. Pilih *new study* lalu pilih simulasi *drop test*



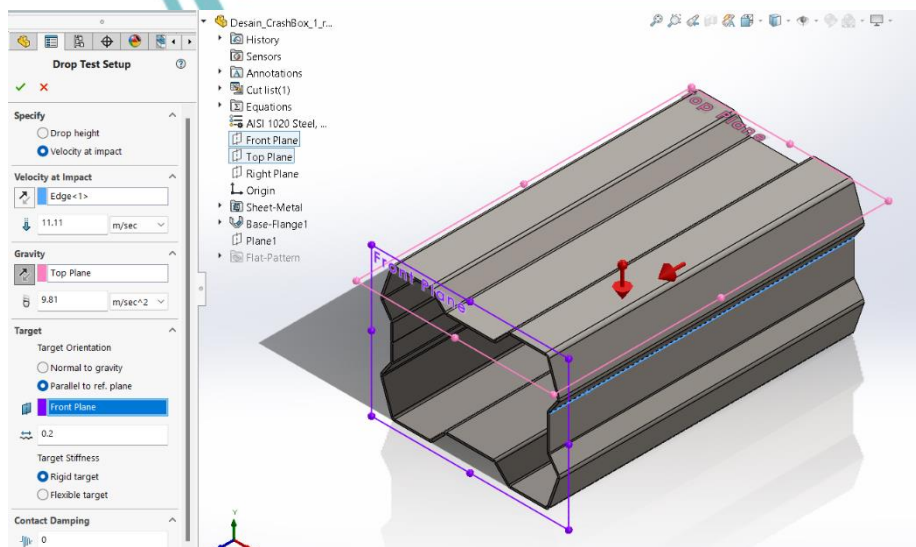
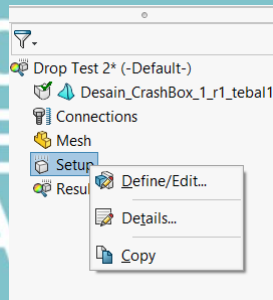
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Klik kanan pada bagian desain *crash box* lalu pilih *apply/edit material* lalu pilih material *AISI 1020 Cold Rolled*



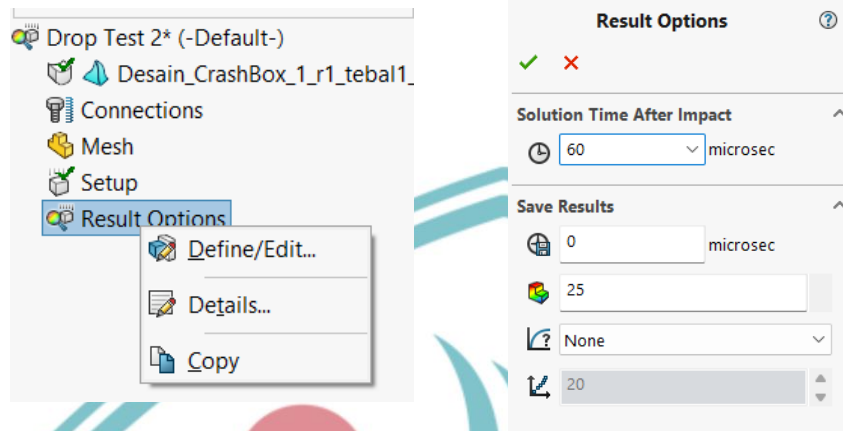
4. Pada bagian setup klik kanan lalu pilih *define/edit*, pada bagian setup menu *specify* pilih *velocity at impact*, pada bagian *velocity impact* pilih sisi yang searah sumbu tabrakan yaitu sumbu z, lalu atur kecepatan *impact* sebesar 11,11 m/s (40 Km/h), Pada bagian *gravity* pilih *plane* yang searah gravitasi yaitu *top plane*, atur percepatan gravitasi 9,81 m/s², pada bagian target pilih *parallel to ref. plane*, yaitu pilih *plane* yang searah dengan tumbukan yaitu *front plane*, lalu masukkan koef. Gesek sebesar 0,2 dan *target stiffness* pilih *rigid target*, yang berarti *crash box* akan menabrak benda kaku saat simulasi dilakukan.



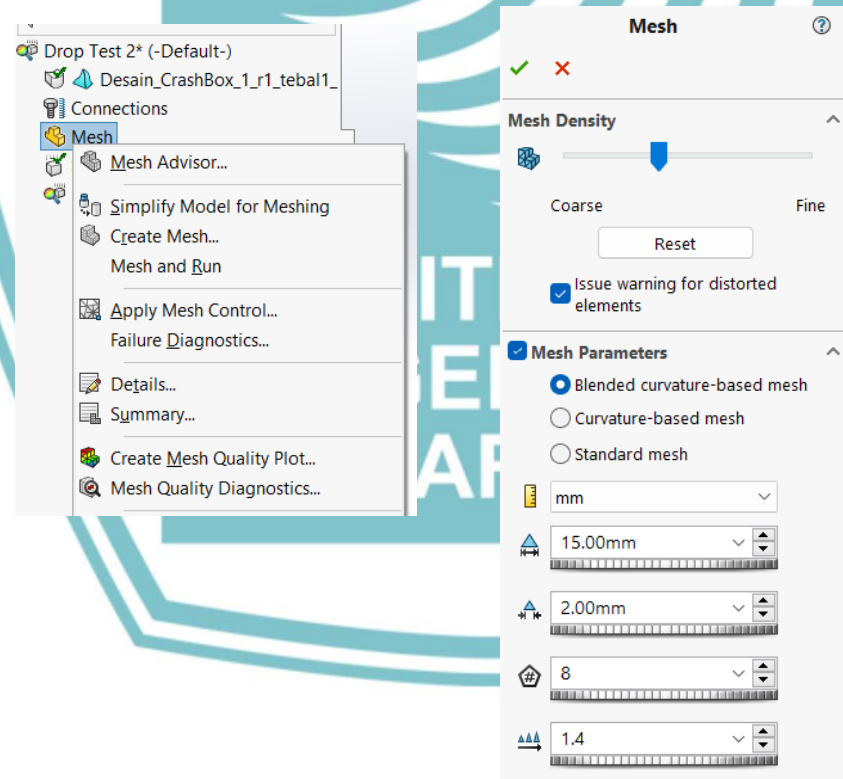
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

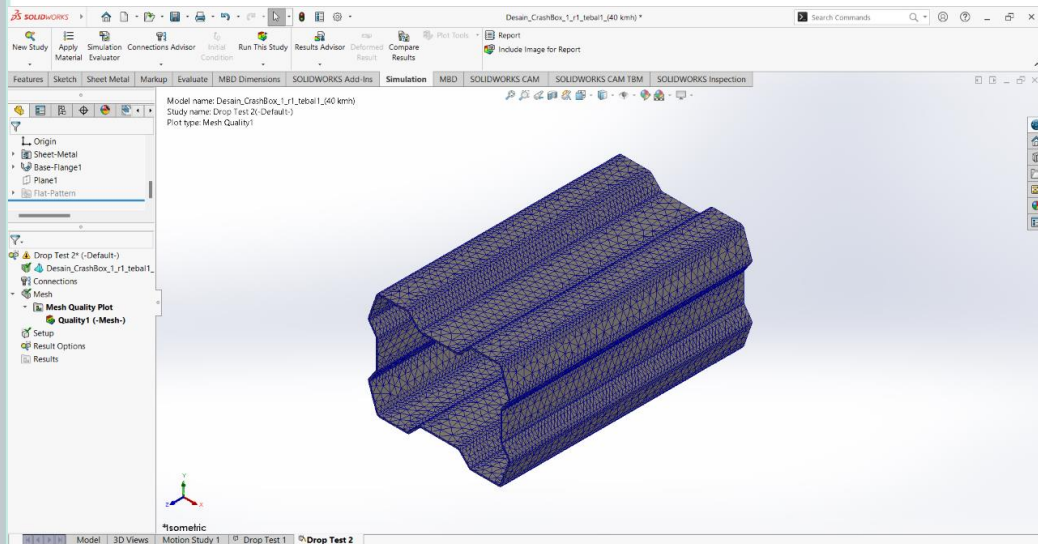
5. Pada bagian *result options* klik kanan lalu pilih *define/edit*, lalu di dalam menu *result options* atur *solution time after impact* sebesar 60 microsecond, yaitu waktu yang mengatur seberapa lama tumbukan terjadi.



6. Pada bagian *mesh* klik kanan lalu pilih *create mesh*, di dalam *mesh* atur *mesh* parameter menjadi *blended curvature-based mesh*, lalu atur *maximum element mesh* menjadi 15 mm, minimum element mesh 2 mm, min. number of element in a circle menjadi 8, dan element size growth ratio menjadi 1,4 lalu klik centang untuk membuat mesh.



7. Jika sudah membuat *mesh* lalu klik *run this study*, proses *running* berkisar 15-30 menit.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Lampiran 4: Progam GPR dan Bayesian Optimization di VSC

Bagian GPR

```

15 # =====
16 # GPR CRASH BOX - FAST2 VERSION
17 # Target: Score_Condition_Python
18 #
19 # Perbaikan dari FAST:
20 # - Menghindari error KeyError: ['Speed_kmh', 'Angle_deg'] not in index
21 # akibat perubahan perilaku pandas pada groupby.apply.
22 # =====
23
24 DATA_FILE = os.path.join("data", "GPR_Objective_Function_Crash_Box_RAFLI.xlsx")
25 SHEET_NAME = "Objective_Function"
26 OUTPUT_DIR = "output"
27 os.makedirs(OUTPUT_DIR, exist_ok=True)
28
29 # Bobot objective function
30 W_SEA = 0.35
31 W_EA = 0.20
32 W_CFE = 0.25
33 W_PCF_LOW = 0.10
34 W_MI_LOW = 0.10
35
36
37 def rmse(y_true, y_pred):
38     return np.sqrt(mean_squared_error(y_true, y_pred))
39
40
41 def minmax_high(series):
42     """Normalisasi 0-1 untuk parameter yang ingin dimaksimalkan."""
43     s = pd.to_numeric(series, errors="coerce").astype(float)
44     denom = s.max() - s.min()
45     if denom == 0:
46         return pd.Series(1.0, index=s.index)
47     return (s - s.min()) / denom
48

```

Bagian Bayesian Optimization

```

# =====
# BAYESIAN OPTIMIZATION CRASH BOX
# Target: Mean Score per desain
#
# Input BO:
# - Design A/B/C
# - Radius_Level
# - Thickness_Level
#
# Target:
# - Mean_Score = rata-rata Score_Condition_Python dari seluruh
# variasi Speed_kmh dan Angle_deg.
#
# Catatan:
# Speed_kmh dan Angle_deg tidak dioptimasi karena keduanya adalah
# kondisi pembebanan, bukan variabel desain.
# =====

INPUT_FILE = os.path.join("output", "hasil_gpr_score_condition_FAST2.xlsx")
INPUT_SHEET = "GPR_Result"

OUTPUT_DIR = "output"
os.makedirs(OUTPUT_DIR, exist_ok=True)

OUTPUT_EXCEL = os.path.join(OUTPUT_DIR, "hasil_bayesian_optimization_mean_score.xlsx")
OUTPUT_PLOT = os.path.join(OUTPUT_DIR, "grafik_bayesian_optimization_mean_score.png")

def rmse(y_true, y_pred):
    return np.sqrt(mean_squared_error(y_true, y_pred))

def expected_improvement(mu, sigma, y_best, xi=0.01):

```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 5: Data Hasil Simulasi

Kecepatan 40 Km/h sudut 0 derajat

No Model	Model	Massa Crash Box (kg)	Deformasi (mm)	EA (J)	SEA (J/kg)	MCF (N)	PCF (N)	CFE
1	A-20-1-1	0.35832	0.312	34.385115	95.96203115	110208.7019	137370	0.802276348
2	A-20-1-2	0.72344	0.312	69.81459	96.50363541	223764.7115	275440	0.812390036
3	A-20-1-3	1.09537	0.312	104.390055	95.30118134	335659.3408	425400	0.789044055
4	A-20-2-1	0.35655	0.312	34.3959	96.46865797	110243.2692	135870	0.811387865
5	A-20-2-2	0.7199	0.312	68.354975	94.95065287	219086.4583	272080	0.805228089
6	A-20-2-3	1.09005	0.312	105.2229	96.53034264	337252.8846	420590	0.801856641
7	A-20-3-1	0.35478	0.312	34.087575	96.08088111	109255.0481	135330	0.807323196
8	A-20-3-2	0.71636	0.312	69.81864	97.46306326	223777.6923	277810	0.805506254
9	A-20-3-3	1.08473	0.312	105.2154	96.99685636	337228.8462	415380	0.811856243
10	B-20-1-1	0.28123	0.314	28.1618681	100.1382075	89687.47803	109780	0.816974659
11	B-20-1-2	0.54971	0.314	53.53814	97.39342562	170503.6306	208540	0.817606361
12	B-20-1-3	0.80543	0.314	78.409005	97.3504898	249710.207	306650	0.81431667
13	B-20-2-1	0.27824	0.314	27.812475	99.95857892	88574.76115	108730	0.814630379
14	B-20-2-2	0.54372	0.314	53.05079	97.57005444	168951.5605	206450	0.818365515
15	B-20-2-3	0.79645	0.314	76.42065	95.95159771	243377.8662	303660	0.80148148
16	B-20-3-1	0.27524	0.314	27.982015	101.6640568	89114.69745	108670	0.820048748
17	B-20-3-2	0.53773	0.314	52.8227	98.23275622	168225.1592	206370	0.815162859
18	B-20-3-3	0.78747	0.314	75.84351	96.31288811	241539.8408	301630	0.800781888
19	C-20-1-1	0.31843	0.315	31.508745	98.95030305	100027.7619	122790	0.814624659
20	C-20-1-2	0.63618	0.315	61.589075	96.81076896	195520.873	242950	0.804778238
21	C-20-1-3	0.95323	0.315	92.811765	97.36555186	294640.5238	366830	0.803207273
22	C-20-2-1	0.3083	0.315	30.39147	98.57758677	96480.85714	118850	0.811786766
23	C-20-2-2	0.61591	0.315	60.11139	97.59768473	190829.8095	235890	0.808977954
24	C-20-2-3	0.92283	0.315	88.56167	95.96748047	281148.1587	353990	0.794226274
25	C-20-3-1	0.29817	0.315	29.577975	99.19836	93898.33333	114260	0.821795321
26	C-20-3-2	0.59564	0.315	58.2162	97.73722383	184813.3333	233210	0.792476023
27	C-20-3-3	0.89243	0.315	87.6175006	98.17856934	278150.7957	345020	0.806187455

Kecepatan 70 Km/h sudut 0 derajat

No Model	Model	Massa Crash Box (kg)	Deformasi (mm)	EA (J)	SEA (J/kg)	MCF (N)	PCF (N)	CFE
1	A-20-1-1	0.35832	0.547	105.393765	294.1330794	192675.9872	239910	0.803117783
2	A-20-1-2	0.72344	0.546	213.51775	295.1423062	391058.1502	481090	0.812858613
3	A-20-1-3	1.09537	0.546	320.61035	292.6959384	587198.4432	742880	0.790435122
4	A-20-2-1	0.35655	0.546	105.04495	294.6149208	192390.0183	237760	0.809177399
5	A-20-2-2	0.7199	0.546	209.17812	290.565523	383110.1099	475520	0.805665608
6	A-20-2-3	1.09005	0.546	322.57532	295.9270859	590797.2894	735680	0.803062866
7	A-20-3-1	0.35478	0.546	104.28571	293.9447263	190999.4689	236470	0.807711206
8	A-20-3-2	0.71636	0.546	213.56845	298.1300603	391151.0073	485350	0.805915334
9	A-20-3-3	1.08473	0.546	321.89942	296.75534	589559.3773	726560	0.811439354
10	B-20-1-1	0.28123	0.548	86.03876	305.9373467	157005.0365	192000	0.817734565
11	B-20-1-2	0.54971	0.548	163.29743	297.0610504	297988.0109	364630	0.817233938
12	B-20-1-3	0.80543	0.548	239.13008	296.8974088	436368.7591	535770	0.814470312
13	B-20-2-1	0.27824	0.548	84.80024	304.7737205	154744.9635	190250	0.813376944
14	B-20-2-2	0.54372	0.548	161.75253	297.4923306	295168.8504	360700	0.818322291
15	B-20-2-3	0.79645	0.548	233.93968	293.7280181	426897.2263	530590	0.80457081
16	B-20-3-1	0.27524	0.548	85.31458	309.964322	155683.5401	189980	0.819473314
17	B-20-3-2	0.53773	0.548	161.14275	299.6722333	294056.1131	360550	0.815576517
18	B-20-3-3	0.78747	0.548	231.27504	293.6937788	422034.7445	527320	0.800338968
19	C-20-1-1	0.31843	0.551	96.271675	302.3323022	174721.7332	214350	0.815123551
20	C-20-1-2	0.63618	0.551	188.156853	295.7604034	341482.4926	424860	0.803752984
21	C-20-1-3	0.95323	0.55	282.862265	296.740834	514295.0276	641230	0.802044551
22	C-20-2-1	0.3083	0.551	92.867825	301.2255109	168544.147	207520	0.812182667
23	C-20-2-2	0.61591	0.549	183.16916	297.3959832	333641.4572	412650	0.808533763
24	C-20-2-3	0.92283	0.549	269.944945	292.5186058	491702.9964	618700	0.79473573
25	C-20-3-1	0.29817	0.551	90.28297	302.7902539	163852.9401	199510	0.821276829
26	C-20-3-2	0.59564	0.549	177.287355	297.6417887	322927.7869	407810	0.791858431
27	C-20-3-3	0.89243	0.548	266.415713	298.5284145	486160.0602	602950	0.806302447

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Kecepatan 100 Km/h sudut 0 derajat

No Model	Model	Massa Crash Box (kg)	Deformasi (mm)	EA (J)	SEA (J/kg)	MCF (N)	PCF (N)	CFE
1	A-20-1-1	0.35832	0.78	214.760135	599.3529108	275333.5064	337530	0.815730473
2	A-20-1-2	0.72344	0.78	435.9804	602.6490103	558949.2308	687650	0.812839716
3	A-20-1-3	1.09537	0.779	653.3702	596.4835626	838729.3967	1059800	0.791403469
4	A-20-2-1	0.35655	0.78	214.59527	601.8658533	275122.141	340060	0.809039996
5	A-20-2-2	0.7199	0.779	426.376555	592.2719197	547338.3248	679970	0.804944813
6	A-20-2-3	1.09005	0.779	657.5939	603.2694831	844151.3479	1051700	0.802654129
7	A-20-3-1	0.35478	0.779	212.638605	599.3534162	272963.5494	337950	0.807703949
8	A-20-3-2	0.71636	0.779	435.43384	607.8422022	558965.1348	694310	0.805065655
9	A-20-3-3	1.08473	0.779	656.20925	604.951693	842373.8768	1038000	0.811535527
10	B-20-1-1	0.28123	0.782	175.6874855	624.711039	224377.3761	274550	0.817255058
11	B-20-1-2	0.54971	0.782	332.934185	605.6542268	425747.0396	521330	0.816655553
12	B-20-1-3	0.80543	0.782	487.346225	605.0758291	623204.8913	765250	0.814380779
13	B-20-2-1	0.27824	0.782	172.912245	621.4499892	221115.4028	272300	0.812028655
14	B-20-2-2	0.54372	0.782	329.4651945	605.9464329	421310.9904	515230	0.81771144
15	B-20-2-3	0.79645	0.782	476.505995	598.2873941	609342.7046	758080	0.803797363
16	B-20-3-1	0.27524	0.782	173.93195	631.9283171	222419.3734	271500	0.819224211
17	B-20-3-2	0.53773	0.782	328.440925	610.7915218	420001.1829	514340	0.816582772
18	B-20-3-3	0.78747	0.782	471.25066	598.4363341	602622.3274	752990	0.800305884
19	C-20-1-1	0.31843	0.786	196.122265	615.9038564	249519.4211	305980	0.815476244
20	C-20-1-2	0.63618	0.786	383.79586	603.2818699	488289.8982	607800	0.803372653
21	C-20-1-3	0.95323	0.785	577.591845	605.9312495	735785.7898	916190	0.803093015
22	C-20-2-1	0.3083	0.786	189.135025	613.4772138	240629.8028	296410	0.811814051
23	C-20-2-2	0.61591	0.784	373.987275	607.2109156	477024.5855	590270	0.808146417
24	C-20-2-3	0.92283	0.783	549.97316	595.963677	702392.2861	883240	0.795245104
25	C-20-3-1	0.29817	0.785	183.90243	616.7703994	234270.6115	284790	0.822608278
26	C-20-3-2	0.59564	0.784	361.726515	607.2905027	461385.861	582650	0.791874815
27	C-20-3-3	0.89243	0.782	543.78477	609.3304461	695376.9437	861800	0.806889004

Kecepatan 40 Km/h sudut 45 derajat

No Model	Model	Massa Crash Box (kg)	Deformasi (mm)	EA (J)	SEA (J/kg)	MCF (N)	PCF (N)	CFE
1	A-20-1-1	0.35832	0.991	3.71644435	10.37185853	3750.196115	6552.4	0.572339313
2	A-20-1-2	0.72344	0.986	10.18378825	14.07689408	10328.38565	14377	0.718396442
3	A-20-1-3	1.09537	1.05	19.601613	17.89496974	18668.20286	26632	0.700968867
4	A-20-2-1	0.35655	0.993	3.79931405	10.65576791	3826.096727	6493.8	0.589192264
5	A-20-2-2	0.7199	0.993	10.102998	14.03389082	10174.21752	15125	0.672675539
6	A-20-2-3	1.09005	1.032	21.520533	19.74270263	20853.22965	27778	0.750710262
7	A-20-3-1	0.35478	0.993	3.74791245	10.56404659	3774.332779	6428.2	0.587152357
8	A-20-3-2	0.71636	0.995	11.2411299	15.69201226	11297.61799	15160	0.745225461
9	A-20-3-3	1.08473	1.04	22.3552785	20.60907184	21495.4601	28153	0.763522896
10	B-20-1-1	0.28123	0.96	7.07080715	25.14243555	7365.424115	9215.8	0.799217009
11	B-20-1-2	0.54971	0.945	17.8732755	32.5140083	18913.51905	24184	0.782067443
12	B-20-1-3	0.80543	0.903	30.30332	37.6237786	33558.49391	41623	0.806248803
13	B-20-2-1	0.27824	1.081	6.673267	23.98385207	6173.234968	8253.3	0.747971716
14	B-20-2-2	0.54372	0.948	17.319279	31.85330501	18269.28165	23597	0.774220521
15	B-20-2-3	0.79645	0.897	29.7947735	37.4094714	33216.02397	41593	0.798596494
16	B-20-3-1	0.27524	1.129	5.88540865	21.38282463	5212.93946	7629.2	0.683287823
17	B-20-3-2	0.53773	0.95	16.6820393	31.02307719	17560.04137	23367	0.75148891
18	B-20-3-3	0.78747	0.889	28.6703365	36.40816349	32250.0973	41217	0.782446498
19	C-20-1-1	0.31843	0.964	4.8806608	15.32726439	5062.926141	6672.6	0.758763622
20	C-20-1-2	0.63618	0.966	14.609455	22.96434185	15123.65942	18219	0.830103706
21	C-20-1-3	0.95323	0.932	28.7309255	30.14060143	30827.17328	42629	0.72315028
22	C-20-2-1	0.3083	1.068	5.16552785	16.75487464	4836.636564	5974.8	0.809506019
23	C-20-2-2	0.61591	0.982	14.7321285	23.91928772	15002.16752	18773	0.799135328
24	C-20-2-3	0.92283	0.936	27.800171	30.12491033	29701.03739	42278	0.70251756
25	C-20-3-1	0.29817	1.142	5.2433304	17.58503672	4591.357618	5414.5	0.847974442
26	C-20-3-2	0.59564	0.995	14.578733	24.47574542	14651.99296	19643	0.745914217
27	C-20-3-3	0.89243	0.941	27.608339	30.93613953	29339.36132	41926	0.699789184

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Kecepatan 70 Km/h sudut 45 derajat

No Model	Model	Massa Crash Box (kg)	Deformasi (mm)	EA (J)	SEA (J/kg)	MCF (N)	PCF (N)	CFE
1	A-20-1-1	0.35832	1.724	11.2055688	31.27251842	6499.749884	11317	0.574335061
2	A-20-1-2	0.72344	1.713	29.9201665	41.35818658	17466.53036	24667	0.708093013
3	A-20-1-3	1.09537	1.818	57.5654385	52.55341894	31664.15759	46111	0.686694229
4	A-20-2-1	0.35655	1.726	11.0121037	30.88515958	6380.129577	11163	0.571542558
5	A-20-2-2	0.7199	1.718	29.5872605	41.09912557	17221.92113	26336	0.653930784
6	A-20-2-3	1.09005	1.799	62.8908695	57.69539883	34958.7935	48090	0.726945176
7	A-20-3-1	0.35478	1.725	10.8431221	30.56294619	6285.867855	10989	0.572014547
8	A-20-3-2	0.71636	1.731	32.6171285	45.53175568	18842.93963	25966	0.72567741
9	A-20-3-3	1.08473	1.812	65.3114685	60.20988495	36043.85679	48448	0.743969963
10	B-20-1-1	0.28123	1.695	21.1162776	75.08543736	12457.98086	15253	0.816756104
11	B-20-1-2	0.54971	1.652	53.470311	97.27003511	32367.01634	41504	0.779852938
12	B-20-1-3	0.80543	1.584	91.384622	113.4606632	57692.31187	71561	0.806197676
13	B-20-2-1	0.27824	1.812	20.490831	73.64444724	11308.40563	15670	0.721659581
14	B-20-2-2	0.54372	1.659	51.6597735	95.01172203	31139.10398	38553	0.807696002
15	B-20-2-3	0.79645	1.575	89.770594	112.7134082	56997.20254	71405	0.79822425
16	B-20-3-1	0.27524	1.905	17.54048	63.72794634	9207.601024	14767	0.623525498
17	B-20-3-2	0.53773	1.662	50.5839035	94.06933498	30435.56167	40118	0.758651021
18	B-20-3-3	0.78747	1.566	88.089636	111.8641167	56251.36398	71854	0.782856403
19	C-20-1-1	0.31843	1.674	14.543343	45.67202525	8687.77957	11350	0.765443134
20	C-20-1-2	0.63618	1.685	43.672323	68.64774592	25918.29258	30566	0.847945187
21	C-20-1-3	0.95323	1.631	86.1554825	90.38268047	52823.71704	71958	0.734090956
22	C-20-2-1	0.3083	1.898	15.4053907	49.96883117	8116.644178	9878.2	0.821672387
23	C-20-2-2	0.61591	1.715	43.8236285	71.15264974	25553.13615	31473	0.811906591
24	C-20-2-3	0.92283	1.638	83.8026365	90.81048135	51161.56074	73495	0.696123012
25	C-20-3-1	0.29817	2.03	15.2127942	51.02053912	7493.987266	8790.3	0.852529182
26	C-20-3-2	0.59564	1.735	43.3147735	72.71971913	24965.28732	34194	0.73010725
27	C-20-3-3	0.89243	1.653	82.9907905	92.99417377	50206.16485	72079	0.696543582

Kecepatan 100 Km/h sudut 45 derajat

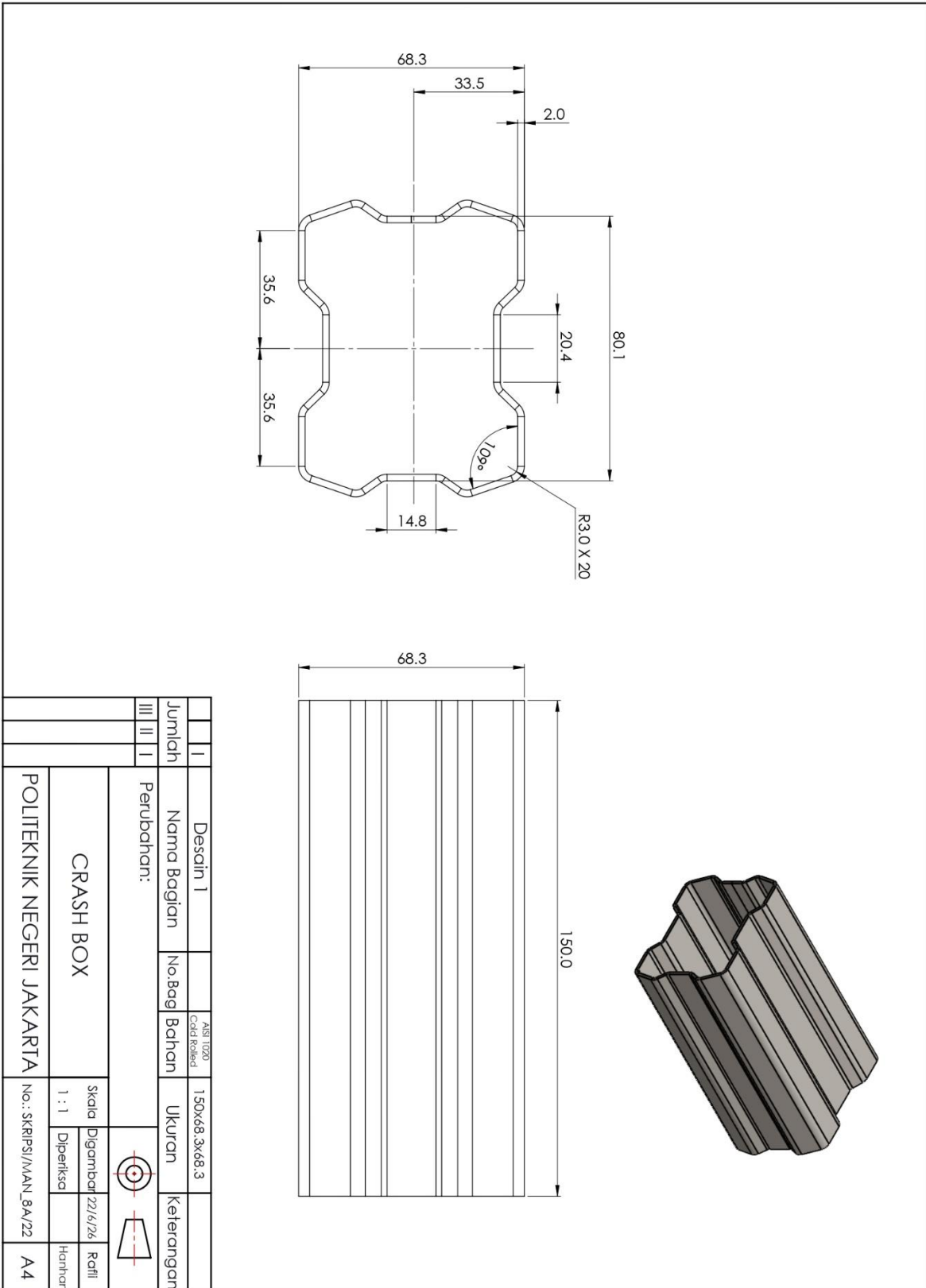
No Model	Model	Massa Crash Box (kg)	Deformasi (mm)	EA (J)	SEA (J/kg)	MCF (N)	PCF (N)	CFE
1	A-20-1-1	0.35832	2.452	21.7479988	60.69434807	8869.493801	15966	0.555523851
2	A-20-1-2	0.72344	2.434	58.9772345	81.52332536	24230.58114	35125	0.689838609
3	A-20-1-3	1.09537	2.573	114.182943	104.2414367	44377.35814	65246	0.680154464
4	A-20-2-1	0.35655	2.452	21.3390658	59.848733	8702.718495	15669	0.555409949
5	A-20-2-2	0.7199	2.439	58.2939215	80.97502639	23900.74682	37488	0.637557267
6	A-20-2-3	1.09005	2.555	123.598987	113.3883648	48375.33738	67938	0.712051243
7	A-20-3-1	0.35478	2.448	20.9585214	59.07469812	8561.4875	15335	0.558297196
8	A-20-3-2	0.71636	2.461	63.7181855	88.94715716	25891.17655	37323	0.693705666
9	A-20-3-3	1.08473	2.573	128.035297	118.0342541	49761.09464	68172	0.729934499
10	B-20-1-1	0.28123	2.53	43.1686375	153.4994044	17062.70257	20318	0.839782585
11	B-20-1-2	0.54971	2.369	107.440777	195.4499227	45352.79738	62338	0.727530517
12	B-20-1-3	0.80543	2.274	184.139824	228.6230008	80976.17568	101860	0.794975218
13	B-20-2-1	0.27824	2.527	41.6807187	149.8013179	16494.15065	22014	0.74925732
14	B-20-2-2	0.54372	2.379	105.230277	193.5376232	44232.98718	59962	0.737683653
15	B-20-2-3	0.79645	2.26	180.711651	226.896416	79960.9073	100160	0.798331742
16	B-20-3-1	0.27524	2.599	36.9215713	134.1431889	14206.06822	22046	0.644383027
17	B-20-3-2	0.53773	2.376	103.508456	192.4915032	43564.16498	58819	0.740647835
18	B-20-3-3	0.78747	2.25	178.794199	227.0489015	79464.08822	100770	0.788568902
19	C-20-1-1	0.31843	2.381	28.8115953	90.48015341	12100.62799	17498	0.69154349
20	C-20-1-2	0.63618	2.401	86.969449	136.7057264	36222.17784	42337	0.855567892
21	C-20-1-3	0.95323	2.337	172.875204	181.3572842	73973.12965	99038	0.746916635
22	C-20-2-1	0.3083	2.66	30.2731189	98.19370386	11380.87177	14909	0.76335581
23	C-20-2-2	0.61591	2.448	87.530166	142.1151889	35755.78676	43610	0.819898802
24	C-20-2-3	0.92283	2.331	171.16575	185.4791782	73430.18018	102560	0.715972896
25	C-20-3-1	0.29817	2.802	30.5254073	102.3758504	10894.14964	13417	0.811966136
26	C-20-3-2	0.59564	2.451	88.388083	148.3917853	36062.04937	47301	0.762395073
27	C-20-3-3	0.89243	2.351	170.191623	190.7058509	72391.16227	102370	0.707152118

Hak Cipta :

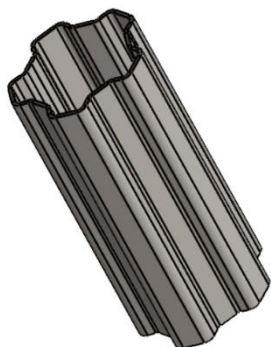
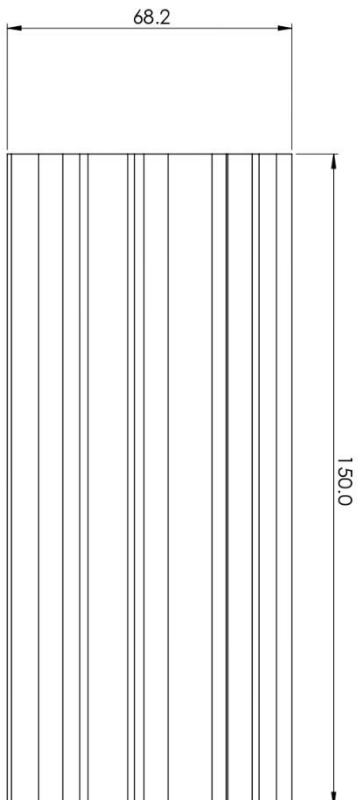
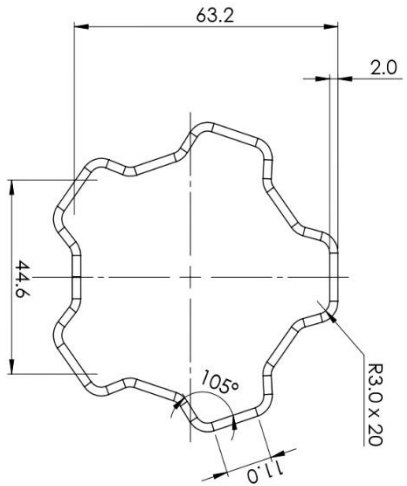
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 6: 2D Drawing Desain A, B, dan C

Desain A

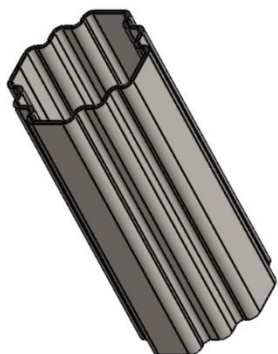
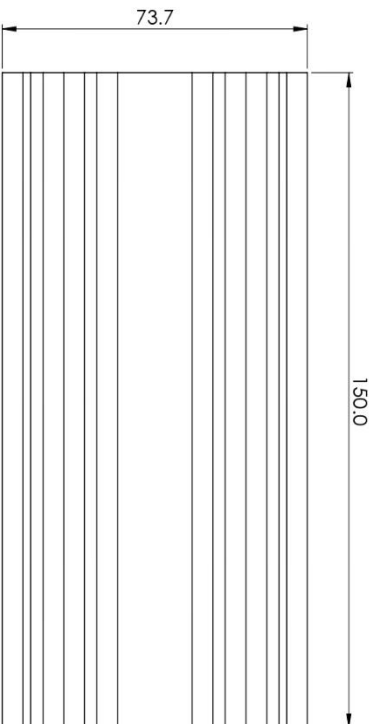
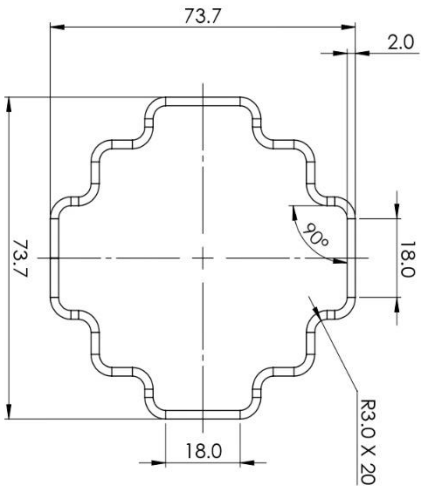


- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengutipkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



I	Desain 2		AISI 1020 Cold Rolled	150x68.2x68.2	
Jumlah	Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III II I	Perubahan:				
CRASH BOX					
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA					
Skala		1 : 1		Dibuat 22/6/26	
No.: SKRIPS/MAU_8A/22		Diperiksa		Rafli	
A4				Hartono	

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



I	Desain 3	No. Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
Jumlah	Nama Bagian		ASTM 1020 Cold Rolled	150x73.7x73.7	
III II I	Perubahan:				
CRASH BOX					
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA					
Skala		Dikambar		Ratifikasi	
1 : 1		22/6/26		Harian	
No.: SKRIPS/MAN_8A/22		Diperiksa		A4	

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengutipkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta