



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**DESAIN DAN ANALISA *IMPACT* PADA STRUKTUR *BUMPER*
BELAKANG KENDARAAN *SUV* DENGAN METODE ELEMEN
HINGGA**

TUGAS AKHIR

HERU PURNOMO

L2E 007 044

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

SEMARANG

MARET 2012

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nam : Heru Purnomo

NIM : L2E 007044

Dosen Pembimbing : 1. Ir. Djoeli Satrijo ,MT

Jangka Waktu : 12 (dua belas) bulan

Judul : Desain dan Analisa *Impact* pada Struktur *Bumper* Belakang Kendaraan *SUV* Dengan Metode Elemen Hingga

Isi Tugas :

Melakukan analisa displacement dan keamanan pada Struktur *Bumper* Belakang dengan memberikan pembebanan pendulum sesuai ECE R.42

Semarang, Maret 2012

Dosen Pembimbing,



Ir. Djoeli Satrijo ,MT

NIP. 196107121988031003

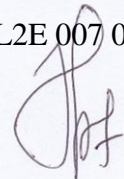
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Heru Purnomo

NIM : L2E 007 044

Tanda Tangan :



Tanggal : Maret 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Heru Purnomo

NIM : L2E 007 044

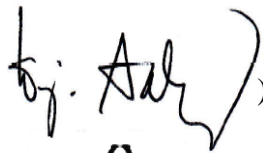
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Desain dan Analisa *Impact* pada Struktur *Bumper* Belakang Kendaraan *SUV* dengan Metode Elemen Hingga

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing : Ir. Djoeli Satrijo ,MT

()

Penguji : Ir. Eflita Yohana, MT, Ph.D

()

Penguji : Khoiri Rozi, ST, MT

()

Penguji : Ir. Sugeng Tirta Atmadja, MT

()

Semarang, Maret 2011

Ketua Jurusan Teknik Mesin


Dr.SULARDJAKA,ST,MT

NIP. 197104201998021001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : HERU PURNOMO
NIM : L2E 007 044
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : SKRIPSI

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

DESAIN DAN ANALISA *IMPACT* PADA STRUKTUR *BUMPER* BELAKANG KENDARAAN *SUV* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : Maret 2011

Yang menyatakan



Heru Purnomo
NIM. L2E 007 044

HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

”Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan (QS. ASY-SYARH ayat 5)”

PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

- ❖ Orang tua saya tercinta, Jawawi dan Sundariyang selalu memberikan do’a, nasehat, kasih sayang serta dukungan baik moral maupun material.
- ❖ Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Angkatan 2007

ABSTRAK

Bumper adalah salah satu struktur yang penting dalam kendaraan berpenumpang, dan didesain untuk menerima beban *impact*. *Bumper* merupakan pelindung luar yang dirancang sedemikian rupa untuk memungkinkan terjadinya kontak dan mengalami guncangan yang mungkin terjadi tanpa menimbulkan kerusakan serius. *Bumper* dirancang untuk menyerap energi tabrakan saat terjadi kecelakaan untuk kondisi kecepatan rendah. Untuk pengujian simulasi *impact* dengan kecepatan rendah berdasarkan standar ECE Regulasi 42,1994. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui hubungan antara bentuk, jenis material, ketebalan struktur.

Penelitian ini, mendesain dan menganalisa *impact* pada struktur *bumper* belakang kendaraan *SUV* dengan menggunakan *software* *CATIA* dan *ANSYS LS-DYNA*. Parameter perancangan adalah bentuk, material, ketebalan struktur dan kondisi *impact*. Dalam pemodelan *impact*, penulis menggunakan *longitudinal impact test* dengan memberikan beban pendulum berdasarkan *ECE R.42*. Konsep desain terdiri dari 4 bentuk, 3 material, ketebalan 3 mm, 4 mm, 5 mm dan solusi alternatif dengan menggunakan absorber . Parameter bentuk, konsep desain yang aman adalah desain 4 karena memiliki tegangan paling rendah yaitu 328,25 MPa, parameter bahan/material adalah 2 AL 2219-T31 sebesar 191,35 MPa , parameter ketebalan adalah 4 mm dengan respon tegangan *von misses* sebesar 138,632 MPa karena relatif ringan dan parameter absorber dengan menggunakan karet. respon tegangan *Von Misses* 196,39 Mpa. Untuk pembebanan energi dua kali maka hasilnya dari desain struktur *bumper* belakang masih aman.

Kata kunci : *Bumper* belakang, *ECE R.42*, *longitudinal impact test*

ABSTRACT

Bumpers are one of the key structures in passenger cars for which careful design and in order to achieve impact behavior. Bumper is exterior protection device and designed in such a way as to allow contacts and small shocks to occur without causing any serious damage. Bumper design to absorb energy when involved in a collision at low speed impact. This test is to simulate rearward low speed impact conditions from standard of automobiles stated in E.C.E. United Nations Agreement, Regulation no.42,1994. In this research characteristics are compared to each other to find best choice of shape, material, thickness and ribs.

To reach this aim, design and analysis of an automotive rear bumper structure SUV in low-speed impact with modeling, solving and result's analysis are done in CATIA, ANSYS LS-DYNA software respectively. This study focused on selecting the best geometrical bumper concept to fulfill parameters of the defined product design specification (PDS). Parameter design is shape, material, thickness and impact conditions. The author do modeling impact conditions with longitudinal impact test by giving a pendulum load according to ECE R42. Geometrical bumper concept made of four shape, three material is aluminium, thickness of design is 3 mm, 4 mm and 5 mm and alternative solution with absorber/ribs. The bumper concept was simulated under the same conditions and safety bumper concept is shape 4 and result of von misses stress is 328,25 MPa , material 2 AL 2219-T3 is 138,632 MPa , thickness 4 mm is 138,632 MPa because is relatively light weight than the other and absorber/ribs with rubber stress is 196,39 Mpa. For load double from initial condition, the structure of rear bumper is relatively safe.

Keyword : Rear bumper, ECE R.42, longitudinal impact test

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Warrohmatullohi Wabarrokatuh

Puji syukur Kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “**DESAIN DAN ANALISA IMPACT PADA STRUKTUR BUMPER BELAKANG KENDARAAN SUV DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**”. Laporan Tugas Akhir ini diajukan sebagai salah satu tugas dan syarat untuk memperoleh gelar Strata-1 (S-1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Djoeli Satrijo ,MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
2. Ibu Ir. Eflita Yohana, MT, Phd selaku Koordinator Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
3. Kepada Orang Tua saya tercinta, juga segenap saudara-saudara saya, yang telah memberikan dukungan moral maupun finansialnya kepada saya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Angkatan 2007.
5. Semua pihak yang berhubungan langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis dalam penulisan laporan.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi isi maupun cara penyusunannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca demi kesempurnaan laporan ini.

Wassalamu'alaikum Warrohmatullohi Wabarrokatuh.

Semarang, Maret 2012

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
TUGAS AKHIR.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xix
NOMENKLATUR.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 PEMBATASAN MASALAH	4
1.5 METODE PENELITIAN	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II DASAR TEORI	
2.1 DEFINISI <i>BUMPER</i>	6
2.2 SISTEM <i>BUMPER</i>	7
2.2.1 Sistem Pemilihan	7
2.2.2 Sistem <i>Cover/Fascia</i> Logam	8
2.2.3 Sistem <i>Cover/Fascia</i> Plastik Dan Penguatan <i>Beam</i>	9
2.2.4 Sistem <i>Cover/Fascia</i> Plastik, Penguatan <i>Beam</i> Dan Penyerapan Energi	9

2.3	KOMPONEN <i>BUMPER</i>	10
2.3.1	<i>Fascia/Cover</i>	10
2.3.2	Penyerap Energi.....	10
2.3.3	<i>Facebar</i>	10
2.3.4	Penguatan <i>Beam</i>	11
2.4	TUJUAN <i>BUMPER</i>	12
2.4.1	Estetika	12
2.4.2	Bodi Proteksi	13
2.4.3	Penyerapan Energi	15
2.5	STANDAR UJI PENDULUM <i>BUMPER</i> ECE R42	17
2.5.1	Tujuan ECE R42.....	17
2.5.2	Definisi ECE R42	17
2.5.3	Prosedur Tumbukan Kecepatan Rendah.....	18
2.6	METODE ELEMEN HINGGA.....	19
2.6.1	Definisi	19
2.6.2	Geometri Elemen	22
2.7	KONSEP TEGANGAN	24
2.7.1	Pendahuluan.....	24
2.7.2	Tegangan Normal Dan Geser	25
2.7.3	Analisa Kegagalan	27
2.8	MEKANIKA <i>IMPACT</i>	30
2.8.1	Definisi Tumbukan	30
2.8.2	<i>Central Impact</i> Langsung	31
2.8.3	<i>Shock</i> Dan Tumbukan.....	33
2.9	PROGAM BANTU	36
2.9.1	<i>CATIA</i>	37
2.9.2	<i>ANSYS/ANSYS LS-DYNA</i>	39
BAB III PERANCANGAN		
3.1	BAGAN PERANCANGAN.....	43
3.2	METODE PERANCANGAN	44
3.3	KONSEP PERANCANGAN	44

3.4	SPESIFIKASI DESAIN PERANCANGAN	45
3.5	PARAMETER PERANCANGAN	45
3.6	ALTERNATIF DESAIN	46
3.7	PEMILIHAN ALTERNATIF DESAIN	47
3.8	KEPUTUSAN	48
BAB IV PEMODELAN STRUKTURBEMPER BELAKANG		
4.1	BAGAN PEMODELAN DAN ANALISA	49
4.2	PEMODELAN PENDULUM ECE R.42 KE <i>SOFTWARE</i> CAD	51
4.2.1	Pengaturan Dokumen	52
4.2.2	Geometri Pendulum ECE R.42.....	54
4.2.3	Profil	56
4.3	PEMODELAN STRUKTUR BEMPER BELAKANG KE <i>SOFTWARE</i> CAD	58
4.3.1	Pemodelan Beam <i>Bumper</i> Belakang	58
4.3.2	Pemodelan Dudukan <i>Bumper</i> Belakang	62
4.3.3	Pemodelan <i>Absorber</i>	64
4.4	ASSEMBLY PENDULUM DAN STRUKTUR BEMPER	66
4.4.1	Assembly Pendulum Dan Struktur <i>Bumper</i> Belakang	66
4.4.2	Variasi Pemodelan Struktur <i>Bumper</i> Belakang	68
4.5	PEMODELAN UJI <i>IMPACT</i> ECE R.42 PADA STRUKTUR	
	<i>BUMPER</i> BELAKANG KE <i>SOFTWARE</i> ANALISA.....	70
4.5.1	IMPORT MODEL PENDULUM ECE R.42 DAN STRUKTUR	
	<i>BUMPER</i> BELAKANG	70
4.5.2	<i>PREPROCESSOR</i>	71
4.5.2.1	<i>Element Type</i>	71
4.5.2.2	<i>Real Constant</i>	73
4.5.2.3	<i>Material Properties</i>	74
4.5.2.4	<i>Meshing</i>	77
4.5.2.5	Pendefinisian Elemen.....	79
4.5.2.6	<i>Coupling/Ceqn</i>	81
4.5.2.7	<i>LS-DYNAoption</i>	82
4.5.3	<i>SOLUTION</i>	83

4.5.3.1 <i>Initial Velocity</i>	83
4.5.3.2 <i>Time Control</i>	84
4.5.3.3 <i>Output Control</i>	84
4.5.3.4 <i>Solve</i>	85
4.5.4 <i>GENERAL POSTPROC</i>	86
4.5.4.1 <i>List Result</i>	86
4.5.4.2 Animasi	86
BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN	
5.1 PENGANTAR	88
5.2 DATA MASUKAN	88
5.2.1 <i>Element Type</i>	89
5.2.2 <i>Real Constant</i>	89
5.2.3 <i>Material Properties</i>	90
5.2.4 Nodal Dan <i>Element</i>	92
5.3 DATA KELUARAN	94
5.3.1 Parameter Bentuk	94
5.3.2 Parameter Bahan.....	100
5.3.3 Parameter Ketebalan.....	106
5.3.4 Parameter <i>Absorber</i>	112
5.4 RELASI ENERGI.....	116
BAB VI PENUTUP	
6.1 KESIMPULAN	120
6.2 SARAN	122
DAFTAR PUSTAKA	123
LAMPIRAN A Gambar Pemodelan Struktur <i>Bumper</i> Belakang	125
LAMPIRAN B Element.....	133
LAMPIRAN C Kasus Sederhana.....	139

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Aplikasi uji <i>impact</i> untuk <i>bumper</i> belakang.....	2
Gambar 1.2	Prosentase kecelakaan jalan raya di Amerika Serikat tahun 2000 ...	2
Gambar 2.1	Contoh desain bumper baja (Cadillac)	6
Gambar 2.2	Gambaran skematis penyerapan energi pada bumper depan A)Flexible skin; B) Supporting bar; c) Foam insert; D) Absorbing/Damping device.....	7
Gambar 2.3	Sistem <i>Bumper</i> kendaraan a) <i>Metal facebar</i> , b) <i>Plastic fascia and Reinforcing beam</i> , c) <i>Plastic fascia, Reinforcing beam and Mechanical energy absorbers</i> , d) <i>Plastic fascia, Reinforcing beam and Foam or Honeycomb energy absorber</i>	8
Gambar 2.4	Penampang beam	11
Gambar 2.5	Evolusi bumper berdasarkan bahan plastic.....	13
Gambar 2.6	Penyerap pada bumper depan kendaraan R.S.V (1973-1975) A) Calspan B) mini car	13
Gambar 2.7	Perbedaan tipe bumper A) shell, B) logam penyangga, C) kotakan plastic D) foam dan logam penyangga	14
Gambar 2.8	Grafik analisa pasar menurut perbedaan tipe bumper A)shell, B) logam penyangga, C) kotakan plastik D) foam dan logam penyangga	14
Gambar 2.9	Parameter sifat dari crush box E:penyerapan energi, D: total deformasi S: ketebalan dinding.....	17
Gambar 2.10	Penampang pendulum ECE R.42.....	19
Gambar 2.11	Masalah struktur a) model struktur; b) pemodelan elemen hingga....	21
Gambar 2.12	Metode irisan sebuah benda	24
Gambar 2.13	Tegangan normal pada beban axial.....	25
Gambar 2.14	Tegangan pada pembebanan elemen.....	26
Gambar 2.15	Tegangan yang bekerja pada sebuah bidang elemen	26

Gambar 2.16	Teori tegangan normal maksimum (MNS) dan garis beban	28
Gambar 2.17	Perbandingan teori tegangan geser maksimum dengan distorsi energi.....	29
Gambar 2.18	Ilustrasi <i>direct central impact</i>	30
Gambar 2.19	Ilustrasi mekanika impact dua partikel seperti sistem tunggal a)Sebelum tumbukan, b) Deformasi maksimum, c) Setelah tumbukan.....	31
Gambar 2.20	Ilustrasi hubungan kecepatan v'_A dan v'_B dengan komponen skalar v'_A dan v'_B ; a) waktu deformasi; b) waktu restitusi	32
Gambar 2.21	Model matematika dua derajat kebebasan dari sebuah	34
Gambar 2.22	Model matematika dua derajat kebebasan dari sebuah masa saat bertumbukan dengan masa yang diam.....	34
Gambar 2.23	Defleksi pada kantilever beam; a) akibat benda jatuh bebas; b) persamaan pemodelan pegas dan c) diagram benda bebas	35
Gambar 2.24	Tampilan umum dari <i>CATIA</i>	37
Gambar 2.25	<i>Workbench toolbar generative shape design</i>	38
Gambar 2.26	<i>ANSYS 12.0 OutputWindows</i>	40
Gambar 2.27	Tampilan umum dari <i>ANSYS SLS-DYNA</i>	40
Gambar 2.28	<i>Standard Toolbar</i>	41
Gambar 3.1	Bagan perancangan struktur <i>bumper</i> belakang	43
Gambar 3.2	Tipe bumper dengan sistem penyerap energy	44
Gambar 3.3	Bagan parameter pemilihan beam <i>bumper</i>	45
Gambar 3.4	Bagan pemilihan alternatif perancangan	48
Gambar 4.1	Bagan pemodelan dan analisa uji pendulum pada struktur <i>bumper</i> belakang.....	49
Gambar 4.2	Kendaraan Nissan X-Trail ST 2.0 litre 2WD Petrol	50
Gambar 4.3	Pemodelan pendulum ECE R.42.....	51
Gambar 4.4	Langkah pemodelan pendulum dengan <i>CATIA V5R17</i>	51
Gambar 4.5	Perintah pengaturan satuan di <i>CATIA</i>	52
Gambar 4.6	Sistem koordinat untuk pendulum ECE R.42	53
Gambar 4.7	<i>Geometrical set</i> pendulum ECE R.42	53

Gambar 4.8	<i>Skecth.1</i> arah profil pendulum ECE R.42	54
Gambar 4.9	<i>Skecth.2</i> profil pendulum ECE R.42	54
Gambar 4.10	<i>Joint skecth.1</i> arah profil pendulum ECE R.42.....	55
Gambar 4.11	<i>Joint skecth.2</i> profil tertutup pendulum ECE R.42	55
Gambar 4.12	<i>Sweep</i> volume profil c tertutup pendulum ECE R.42	56
Gambar 4.13	<i>Sketch.2</i> profil segi empat pendulum ECE R.42	57
Gambar 4.14	<i>Extrude</i> volume profil segi empat pendulum ECE R.42.....	57
Gambar 4.15	Pemodelan <i>beam bumper</i> belakang.....	58
Gambar 4.16	Langkah pemodelan <i>beambumper</i> di <i>CATIAV5R17</i>	59
Gambar 4.17	Bidang referensi <i>bumper</i> belakang modifikasi 4	59
Gambar 4.18	<i>Base beam bumper</i> belakang modifikasi 4.....	60
Gambar 4.19	<i>Workbench toolbar</i> di <i>Generative shape design</i>	60
Gambar 4.20	Profil <i>beambumper</i> belakang modifikasi 4	61
Gambar 4.21	Profil lengkung <i>beam bumper</i> belakang modifikasi 4	61
Gambar 4.22	Desain <i>beambumper</i> belakang modifikasi 4	62
Gambar 4.23	Langkah pemodelan dudukan <i>bumper</i> di <i>CATIAV5R17</i>	62
Gambar 4.24	Profil lurus dudukan.....	63
Gambar 4.25	Profil belakang dudukan	63
Gambar 4.26	<i>Toolbar replication</i> untuk profil lingkaran	64
Gambar 4.27	Dudukan <i>bumper</i> belakang	64
Gambar 4.28	Langkah pemodelan <i>absorber</i> di <i>CATIAV5R17</i>	65
Gambar 4.29	Dasar <i>absorber</i>	65
Gambar 4.30	Profil <i>absorber</i>	66
Gambar 4.31	Dokumen <i>assembly</i> pendulum dan struktur <i>bumper</i>	67
Gambar 4.32	<i>Tools constraint</i> dalam dukemen <i>assembly design</i>	67
Gambar 4.33	<i>Offset constraints</i> jarak/posisi tumbukan.....	67
Gambar 4.34	<i>Assembly</i> pendulum dan struktur <i>bumper</i>	68
Gambar 4.35	<i>Import</i> model pendulum ECE R.42 dan struktur <i>bumper</i> belakang.	70
Gambar 4.36	Fitur <i>preferncesANSYSLS-DYNAExplicit</i>	71
Gambar 4.37	Pemilihan tipe elemen	72
Gambar 4.38	Pengaturan elemen tipe pada <i>Thin Shell 163</i>	72

Gambar 4.39	<i>Real constan</i> tipe elemen <i>Thin Shell</i> 163	73
Gambar 4.40	<i>Real constan</i> tipe elemen 3D <i>Mass</i> 166	74
Gambar 4.41	Pendiskripsian <i>material properties</i>	76
Gambar 4.42	<i>Size control area</i>	77
Gambar 4.43	<i>Mesh tool</i>	78
Gambar 4.44	<i>Meshing</i>	79
Gambar 4.45	Pendefinisian elemen	79
Gambar 4.46	Pendiskripsian elemen.....	80
Gambar 4.47	<i>Assembly</i> komponen struktur <i>bumper</i> belakang	81
Gambar 4.48	<i>Coincident</i> nodal <i>absorber</i> dengan <i>beam</i>	81
Gambar 4.49	<i>Coupling/ceqn</i> pada <i>beam</i> dan dudukan	82
Gambar 4.50	Definisi <i>contact</i> parameter	83
Gambar 4.51	<i>Input</i> kecepatan awal pada pendulum	83
Gambar 4.52	Pendiskripsian <i>time control</i> uji pendulum	84
Gambar 4.53	Pendiskripsian <i>output control</i>	85
Gambar 4.54	Proses <i>solve</i>	85
Gambar 4.55	List result (nodal solution)	86
Gambar 4.56	Hasil animasi tegangan <i>von misses</i> pada desain 1	87
Gambar 5.1	Component manager dari desain 1	92
Gambar 5.2	Tegangan <i>von misses</i> untuk parameter bentuk	94
Gambar 5.3	Grafik tegangan Von Misses parameter bentuk.....	95
Gambar 5.4	Displacement untuk parameter bentuk.....	96
Gambar 5.5	Grafik displacement (UZ) parameter bentuk	97
Gambar 5.6	Kecepatan parameter bentuk	98
Gambar 5.7	Grafik Kecepatan Pendulum setelah tumbukan parameter bentuk ...	99
Gambar 5.8	Tegangan <i>von misses</i> untuk parameter bahan.....	100
Gambar 5.9	Grafik tegangan <i>von misses</i> untuk parameter bahan	101
Gambar 5.10	Displacement untuk parameter.....	102
Gambar 5.11	Grafik displacement arah Z untuk parameter bahan	103
Gambar 5.12	Kecepatan parameter bahan	104
Gambar 5.13	Grafik Kecepatan Pendulum setelah tumbukan parameter bahan.....	105

Gambar 5.14	Tegangan von misses ketebalan 5 mm pada parameter ketebalan....	106
Gambar 5.15	Grafik tegangan von misses pada parameter ketebalan	107
Gambar 5.16	Displacement pada parameter ketebalan.....	108
Gambar 5.17	Grafik displacement (UZ) pada parameter ketebalan	109
Gambar 5.18	Kecepatan pada parameter ketebalan	110
Gambar 5.19	Grafik displacement (UZ) pada parameter ketebalan	111
Gambar 5.20	Tegangan Von Misses parameter absorber	112
Gambar 5.21	Grafik tegangan von misses parameter absorber	113
Gambar 5.22	<i>Displacement/</i> perpindahan parameter absorber	113
Gambar 5.23	Grafik <i>displacement</i> perpindahan parameter absorber.....	114
Gambar 5.24	Kecepatan untuk parameter absorber	115
Gambar 5.25	Grafik kecepatan pendulum pada parameter absorber	115
Gambar 5.26	Grafik tegangan <i>von misses</i> dengan variasi pembebanan	117
Gambar 5.27	Grafik <i>displacement</i> dengan variasi pembebanan	118
Gambar 5.28	Grafik <i>displacement</i> dengan variasi pembebanan	119

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Evolusi Plastik Bemper	12
Tabel 2.2	Distribusi penumpang pada kendaraan	18
Tabel 2.3	Tipe elemen hingga pada masalah srtuktur.....	22
Tabel 3.1	Alternatif desain struktur bumper belakang	47
Tabel 4.1	Spesifikasi teknik rancang bangun kendaraan Nissan X-Trail ST 2.0 litre 2WD Petrol.MESIN.....	50
Tabel 4.2	Variasi pemodelan struktur bumper belakang	69
Tabel 4.3	Data properties uji impact pada desain struktur bumper belakang	70
Tabel 4.4	Sifat material dari model parameter bahan	74
Tabel 4.5	Sifat material dari model pendulum (Rigid material).....	75
Tabel 4.6	Sifat material dari model absorber (Blazt-KO Rubber material).....	75
Tabel 4.7	Sifat material dari model beam (Bilinier kinematics).....	75
Tabel 4.8	Sifat material dari model dudukan (Bilinier kinematics).....	75
Tabel 4.9	Sifat material dari model masa kendaraan (Rigid material)	76
Tabel 5.1	Karakteristik pemodelan uji impact pada struktur bumper belakang ..	88
Tabel 5.2	Tipe elemen dari parameter bentuk, bahan dan ketebalan	89
Tabel 5.3	Real constant dari parameter bentuk, bahan	90
Tabel 5.4	Real constant dari parameter ketebalan dan ribs/absorber.....	90
Tabel 5.5	Sifat material dari model pendulum, dudukan, masa kendaraan dan absorber.	91
Tabel 5.6	Sifat material dari beam untuk parameter bentuk dan bahan.....	91
Tabel 5.7	Sifat material dari beam untuk parameter ketebalan dan absorber	91
Tabel 5.8	Jumlah nodal untuk parameter bentuk	92
Tabel 5.9	Jumlah nodal untuk parameter bahan dan ketebalan	93
Tabel 5.10	Jumlah nodal untuk parameter absorber/ribs	93
Tabel 5.11	Data keluaran tegangan Von Misses untuk parameter bentuk	95
Tabel 5.12	Data keluaran displacement untuk parameter bentuk	96
Tabel 5.13	Data keluaran kecepatan untuk parameter bentuk	98
Tabel 5.14	Data keluaran tegangan von misses untuk parameter bahan	101

Tabel 5.15	Data keluaran displacement untuk parameter bahan	103
Tabel 5.16	Data keluaran kecepatan untuk parameter bahan.....	105
Tabel 5.17	Data keluaran tegangan von mises untuk parameter ketebalan.....	107
Tabel 5.18	Data keluaran displacement untuk parameter ketebalan.....	109
Tabel 5.19	Data keluaran kecepatan untuk parameter ketebalan.....	111
Tabel 5.20	Data keluaran kecepatan untuk parameter absorber	115
Tabel 5.21	Hasil pembebanan dua kali energi sebelumnya	117

NOMENKLATUR

Simbul	Besaran	Satuan
A	Luas permukaan	$[m^2]$
A	percepatan	$[m/s^2]$
d_p	Deformasi pada bumper	$[m]$
E	Elastisitas	$[GPa]$
E_k	Energi kinetik	$[J]$
E_p	Energi pendulum	$[J]$
e	Koefisien restitusi	$[-]$
F	Gaya	$[N]$
F_a	Beban setengah puncak maksimum(beban aman)	$[J]$
g	Gravitasi	$[m/s^2]$
h	Ketinggian	$[m]$
I	Momen inersia	$[kg.m^2]$
L	Panjang	$[m]$
k	Kekakuan material	$[N/m^2]$
M	Massa	$[kg]$
M	Momen lentur	$[N.m]$
N	Gaya normal	$[N]$
n	Faktor keamanan	$[-]$
P	Tekanan	$[N/m^2]$
S_t	Kekuatan mengalah terhadap gaya tarik	$[N/m^2]$
S_c	Kekuatan mengalah terhadap gaya tekan	$[N/m^2]$
S_{sy}	Kekuatan geser luluh	$[N/m^2]$
S_{ut}	Kekuatan mengalah akhir terhadap gaya tarik	$[N/m^2]$
S_{uc}	Kekuatan mengalah akhir terhadap gaya tekan	$[N/m^2]$
S_y	Kekuatan luluh	$[N/m^2]$
T_{input}	Energi kinetik <i>input</i>	$[J]$
T_{output}	Energi kinetik <i>output</i>	$[J]$

t	Tebal	[m]
u	Kecepatan saat tumbukan	[m/s]
V	Kecepatan	[m/s]
v_A	Kecepatan awal partikel A	[m/s]
v'_A	Kecepatan setelah tumbukan partikel A	[m/s]
v_B	Kecepatan awal partikel B	[m/s]
v'_B	Kecepatan setelah tumbukan partikel B	[m/s]
W	Gaya berat	[N]
y	Arah translasi	[m]
ρ	Masa jenis	[kg/m ³]
σ	Tegangan normal	[N/m ²]
σ'	Tegangan equivalen (von misses)	[N/m ²]
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Tiga tegangan utama	[N/m ²]
σ_A	Tegangan pada garis beban A	[N/m ²]
σ_B	Tegangan pada garis beban B	[N/m ²]
σ_{max}	Tegangan maksimum	[N/m ²]
σ_{min}	Tegangan minimum	[N/m ²]
σ_r	Daerah batas tegangan	[N/m ²]
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	Tegangan pada sumbu x , y , dan z	[N/m ²]
$\sigma_{x'}$	Tegangan bidang utama	[N/m ²]
τ	Tegangan geser	[N/m ²]
τ_{xy}, τ_{yx}	Tegangan geser pada bidang x - y	[N/m ²]
τ_{zy}, τ_{zy}	Tegangan geser pada bidang y - z	[N/m ²]
τ_{xz}, τ_{zx}	Tegangan geser pada bidang x - z	[N/m ²]
τ_{max}	Tegangan geser maksimum	[N/m ²]
τ_{min}	Tegangan geser minimum	[N/m ²]
ν	Poison rasio	[-]
ω	Kecepatan sudut	[rad/s]