

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

Heru Purnomo, Djoeli Satrijo*

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

*Email: dj_satrijo@undip.ac.id

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 mises sebesar 138,632 MPa karena relatif ringan dan parameter absorber dengan menggunakan karet. respon tegangan Von Mises 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*

PENDAHULUAN

Tujuan

Mendesain dan menganalisa pemodelan uji *impact bumper* belakang kendaraan SUV dengan beberapa model dalam literatur yang membahas *rear impact test* berdasarkan standar ECE R. 42, sehingga dapat diketahui *stress, displacement* dan kecepatan dari struktur *bumper* belakang terhadap beban *impact*.

Pembatasan Masalah:

1. Desain dan analisa struktur *bumper* belakang dilakukan dengan menggunakan software CATIA dan ANSYS/LS DYNA.
2. Menganalisa struktur *bumper* belakang dengan memberikan pembebanan pendulum sesuai ECE R.42 yaitu *Longitudinal Impact Test*.
3. Analisa struktur *bumper* belakang hanya pada kecepatan rendah atau kondisi parkir.
4. Menganalisa struktur *bumper* belakang dari segi konstruksinya dengan mengabaikan efek aerodinamika dan termodinamika.
5. Tegangan sisa pada kampuh las di percabangan diabaikan.
6. Parameter desain dan analisa yaitu bentuk, material, ketebalan struktur dan kondisi impact.

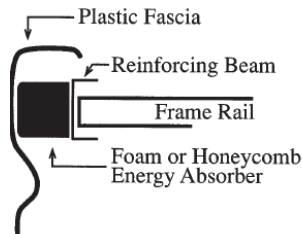
DASAR TEORI

ECE. R.42

ECE (Economic Commission for Europe) Regulation 42 adalah peraturan tentang alat pelindung kendaraan untuk *body* depan dan belakang (*bumper*). Peraturan ini berlaku untuk perilaku bagian-bagian tertentu dari struktur depan dan belakang mobil penumpang ketika terlibat dalam benturan pada kecepatan rendah dan dirancang sedemikian rupa untuk memungkinkan kontak serta terjadi guncangan kecil tanpa menimbulkan kerusakan serius. Pendulum atau impactor (striker) tersebut harus konstruksi kaku, kontur *impact* baja keras. Uji tumbukan memanjang (*Longitudinal impact test*) terdiri dari dua *impact* pada permukaan depan (*bumper* depan) dan dua *impact* pada permukaan belakang kendaraan (*bumper* belakang). Pada setiap *impact* pertama kendaraan dikondisikan dibawah tanpa muatan, dan uji yang kedua kendaraan dalam kondisi dengan muatan. Untuk *impact* pertama lokasi pendulum bebas dan kendaraan harus sejajar terhadap sudut sentuh pendulum, tetapi untuk *impact* kedua pendulum harus berada pada jarak paling tidak 300 mm dari yang pertama, kendaraan dikenai *impact* sebesar (4 ± 0.25) km/jam [5].

Sistem Bumper

Dalam memilih sistem bumper, ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan. Faktor yang paling penting adalah kemampuan sistem bumper untuk menyerap energi yang cukup untuk memenuhi *original equipment manufacturers* (OEMs) internal sebagai bumper standar [2]. Berikut adalah sistem bumper kendaraan secara umum.



Gambar 1. Sistem bumper secara umum

1. Fascia/Cover

Bumper fascia didesain untuk memenuhi beberapa persyaratan misalnya aerodinamis, estetika sehingga mampu menarik konsumen. Bentuk khas dari fascia adalah permainan banyak kurva dan dibuat dari salah satu dari tiga bahan: polypropylene, poliuretan atau polikarbonat [2].

2. Penyerap Energi

Energi peredam yang dirancang untuk menyerap sebagian dari energi kinetik dari tabrakan kendaraan. Peredam energi sangat efektif dalam dampak kecepatan rendah. Jenis penyerap energi termasuk busa, desain sarang lebah dan perangkat mekanis. Semua busa dan desain sarang lebah peredam terbuat dari salah satu dari tiga bahan: polypropylene, poliuretan atau polyethylene. Dalam beberapa sistem bumper, balok penguat itu sendiri dirancang untuk menyerap energi dan peredam energi terpisah tidak diperlukan [2].

3. Penguatan Beam

Balok penguat adalah komponen kunci dari sistem bumper. Balok Penguatan membantu menyerap energi kinetik dari tabrakan. Masalah desain untuk penguatan balok meliputi kekuatan, manufakturabilitas, berat, daur ulang dan biaya. Penampang balok dari proses roll bentuk kotak, C atau saluran, dan topi.

Teori Tegangan Von Mises:

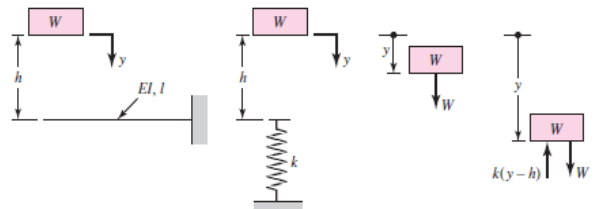
Teori ini memperkirakan suatu kegagalan mengalah dalam tegangan geser yang memadai lebih besar dari yang diperkirakan oleh teori tegangan geser maksimal. Untuk analisis perancangan akan lebih mudah jika kita menggunakan tegangan Von Mises yaitu : (Persamaan yang berkaitan dengan suatu tegangan dalam tiga sumbu) adalah:

$$\sigma' = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}$$

Hal ini dapat terjadi kegagalan jika: $\sigma' \geq S_y$

Shock Dan Impact:

Sebuah tumbukan antara dua benda yang terjadi dalam interval waktu yang sangat sepele dan dua body memberikan gaya yang relatif besar satu sama lain disebut *impact* [12]. Misalnya dalam kasus desain *coining*, *stamping*, dan pembentukan tekan. Dalam kasus lain, tumbukan terjadi karena defleksi yang berlebihan, atau *clearances*/jarak antara bagian *part*. *Shock* adalah suatu istilah yang umum digunakan untuk menggambarkan gaya yang diterapkan secara tiba-tiba [6].



Gambar 2. kasus impact sederhana pada cantilever

$$k = \frac{F}{y} = \frac{3EI}{l^3}$$

Jika v adalah kecepatan konstan maka defleksi maksimum (y_{maks}) adalah:

$$y_{maks} = v \frac{Wl^3}{3EIg}$$

Moment maks pada beam:

$$M_{maks} = kly_{maks} = y \frac{3EIW}{gl}$$

Progam Bantu

Penulis menggunakan 2 program bantu pada penelitian ini, yaitu:

a. **CATIA**

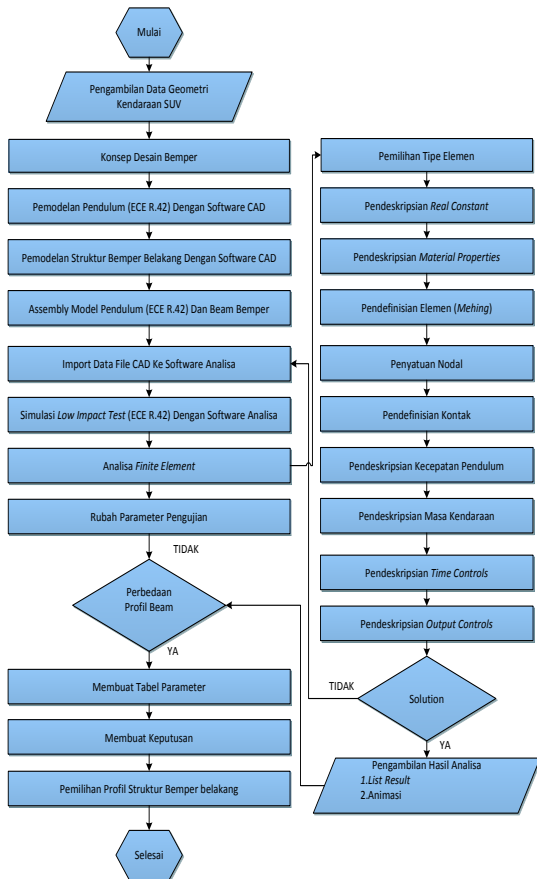
CATIA merupakan software desain yang tujuan akhirnya adalah untuk menghasilkan gambar teknik profesional. Software ini biasa digunakan di industri untuk membantu proses manufaktur atau pun perancangan.

b. **ANSYS/LS DYNA**

ANSYS merupakan software analisa berbasis metode elemen hingga. Dalam hal ini penulis menggunakan ANSYS/LS-DYNA sebagai program bantu karena dapat menganalisa struktural.

Perancangan

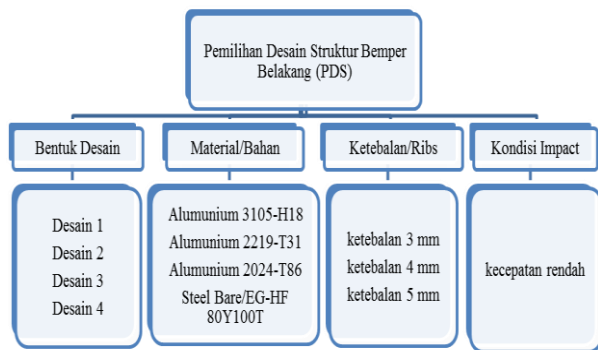
Berikut adalah bagan perancangan dalam proses analisa uji pendulum pada struktur bumper belakang.



Gambar 3. Bagan perancangan uji impact

Spesifikasi Desain Perancangan

Spesifikasi desain perancangan menyajikan permintaan pelanggan dan spesifikasi teknis yang dinamakan *product design specification* (PDS). Hal ini sangat sulit untuk menyelesaikan PDS secara eksak saat langkah awal pengembangan produk ketika ilmu desain yang dibutuhkan kurang. Berikut pada Gambar 4 disajikan spesifikasi desain perancangan:



Gambar 4. Spesifikasi desain perancangan

Parameter Perancangan

1. Kondisi *impact*

Menurut standar ECE R.42 uji pendulum pada bumper belakang dengan kecepatan rendah yang mana bumper tidak boleh berada dalam kondisi plastis. Dalam penelitian ini adalah uji pendulum pada bumper belakang dengan kecepatan rendah *longitudinal impact test*.

2. Bentuk

Bentuk bumper belakang adalah beam cross section tipe C kurva. Tipe bumper cross section dapat meningkatkan kekuatan, dimensi yang stabil, dan kemampuan redaman. Dalam penelitian ini penulis mengevaluasi empat beam cross section tipe C kurva untuk memilih desain bumper yang mampu menyerap energi dan mengalami defleksi pada uji pendulum kecepatan rendah.

3. Material

Analisa uji pendulum pada bumper dengan tujuan penyerapan energi tidak terlepas dari sifat material yaitu berupa kekuatan dan keuletan. Material yang terlalu kuat akan menaikkan kemampuan proteksi namun menurunkan kemampuan penyerapan sehingga beban impact sepenuhnya di terima seluruh bodi kendaraan.

4. Ketebalan

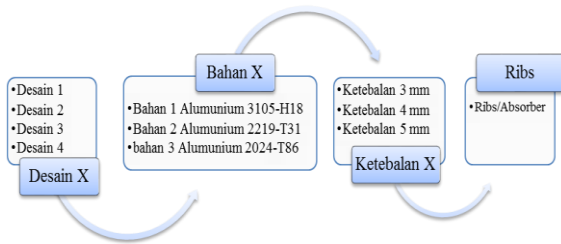
Ketebalan dapat menaikkan kekuatan bumper tetapi menambah berat. Untuk mengatasi masalah ketebalan maka dilakukanlah penambahan rib yang mana mampu meningkatkan tahanan distorsi, rigid, kekakuan struktur dengan ketebalan material yang tipis.

Tabel 1. Alternatif desain struktur bumper belakang

Desain 1	Desain 2
Desain 3	Desain 4
Dudukan	Absorber (solusi alternatif)

Pemilihan Alternatif Desain

Untuk pemilihan alternatif desain bumper belakang penulis mengevaluasi empat desain tersebut dengan menggunakan software analisa. Berikut ini bagian pemilihan alternatif perancangan:



Gambar 5. Bagan pemilihan alternatif perancangan

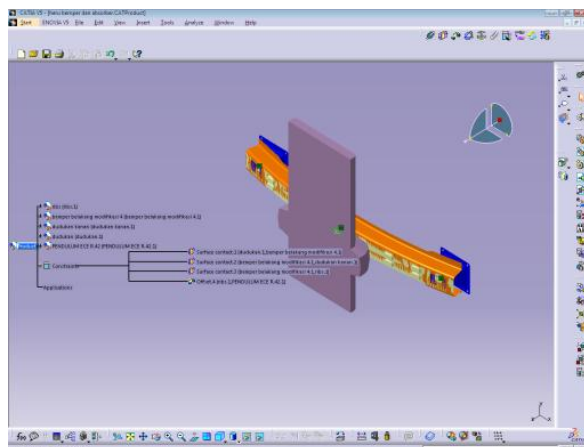
Keputusan

Keputusan berdasarkan parameter perancangan sehingga diperoleh gambaran atau informasi tentang alternatif mana yang lebih baik. Berikut adalah kriteria perancangan untuk stuktur belakang

- Tegangan von misses berada dibawah tegangan luluh.
 - Bahan material
Tegangan luluhnya 0.5 dari tegangan luluh baja (*Steel Bare/EG-HF 80Y100T*).
 - Ketebalan
Ketebalan beam dan dudukan adalah 4 mm (dari literatur).
Solusi alternatifnya dengan penambahan absorber.
- Kriteria perancangan menjadi dasar pertimbangan penulis dalam mengambil keputusan.

Pemodelan Struktur Bumper Belakang Pemodelan ke Software CAD

Pemodelan struktur bumper belakang hanya dimodelkan dalam bentuk *surface* karena beam diasumsikan sebagai plat tipis dan pendulum berupa *solid*. Dalam pemodelan struktur beam menggunakan *assembly* karena pemodelannya dilakukan secara terpisah.

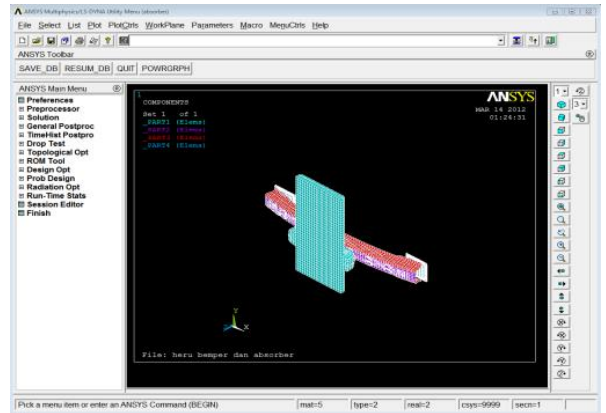


Gambar 6. Pemodelan beam bumper belakang dan pendulum dengan CAD

Gambar 6 merupakan hasil dari pemodelan struktur bumper belakang dengan menggunakan software bantu CATIA V5R17 *Generative Shape Design*.

Pemodelan ke Software ANSYS LS-DYNA

Setelah bentuk struktur bumper belakang dimodelkan dalam software CAD dan file model ini disimpan dalam bentuk .CAT part kemudian diimport ke software analisa (ANSYS/LS-DYNA).



Gambar 7. Pemodelan beam bumper belakang dan pendulum dengan ANSYS

Tipe element:

Tipe elemen yang digunakan dalam analisa *LS-DYNA Explicit* ini adalah 3D *Solid 164* (pendulum), *Thin Shell 163* (struktur bumper belakang) dan 3D *Mass 166* (masa kendaraan). Untuk elemen *shell* menggunakan formulasi *Belytschko-Tsay* membran elemen dengan asumsi tidak ada kekakuan lentur.

Material properties:

Tabel 2. sifat material dari model parameter bahan

Bahan beam	Sifat bahan			
	E (GPa)	ν	S_v (MPa)	ρ (kg/m ³)
Alumunium 3105-H18	68.9	0.33	193	2720
Alumunium 2219-T31	73,1	0.33	248	2840
Alumunium 2024-T86	72,4	0.33	440	2780
Steel bare/EG-HF 80Y100T	207	0.3	584	7860

- Pendulum : Material 1(Steel Bare/EG-HF 80Y100T)
- Ribs/absorber : Material 2 (karet)
- Beam : Material 3 (Alumunium 2219-T31)
- Dudukan : Material 4 (Alumunium 3105-H18)
- Masa kendaraan : Material 5 (Alumunium 3105-H18)

Pendiskripsian elemen (*meshing*):

Meshing merupakan pembagian benda menjadi bagian-bagian yang kecil, yang masih memiliki sifat-sifat yang sama dengan benda asalnya. Pembagian elemen pada struktur bumper belakang dengan cara pengaturan area (*size control*), pemilihan *element attributes*, jenis *mesh* berupa volume (pendulum), area (struktur bumper belakang), *keypoint* (masa kendaraan).

Pendefinisian kontak:

Pendulum ke struktur bumper belakang (ASTS)

Solution:

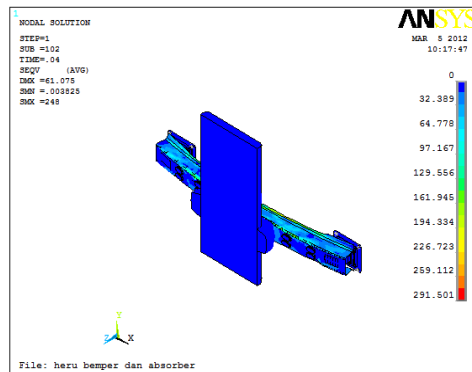
- Input energi

$$E_{input} = \frac{1}{2} m_p v_p^2 = \frac{1}{2} 471,192 \text{ kg } 1,1^2 = 285,07 \text{ Nm}$$

- Pendeskripsiankecepatan pendulum: 1,1 m/s (Standar ECE R.42), pendeskripsian time controls 0,001 s (pemilihandesain), pendeskripsian output controls: 100 step

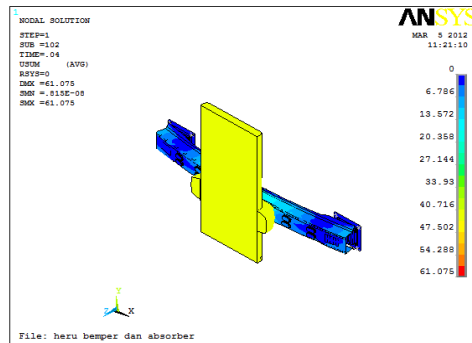
ANALISA DAN PEMBAHASAN

1. Plot tegangan von mises



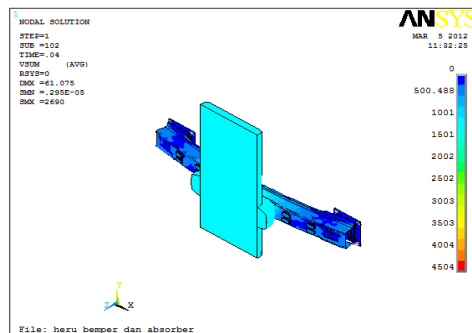
Gambar 8. Plot tegangan untuk parameter absorber

2. Plot displacement



Gambar 8. Plot displacement parameter absorber

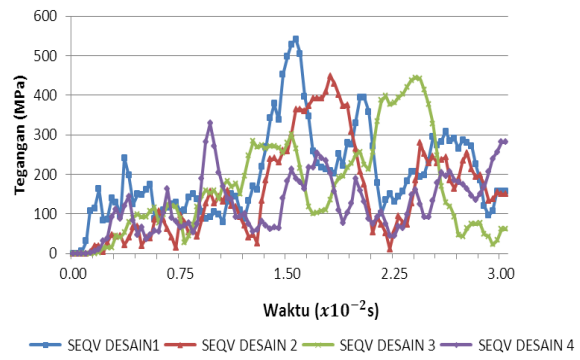
3. Plot kecepatan



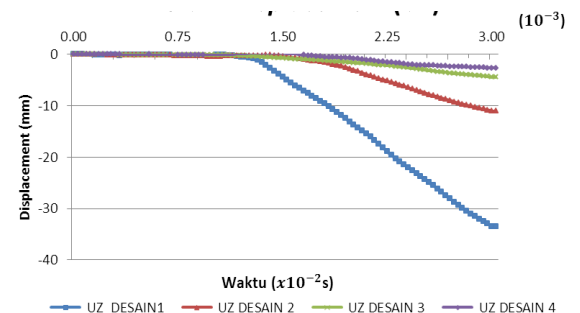
Gambar 9. Plot displacement parameter absorber

Dari plot gambar dapat diambil data keluaran history time untuk parameter perancangan:

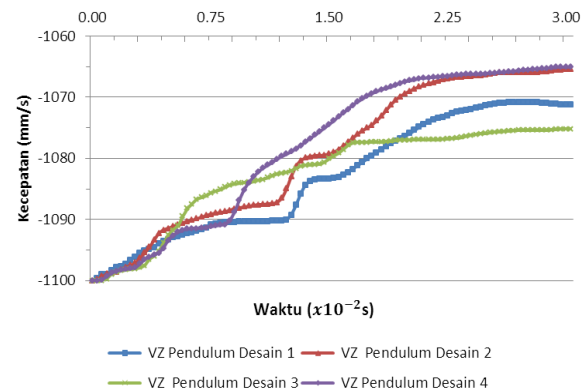
A. Parameter bentuk



Gambar 10. Grafik tegangan von mises parameter bentuk



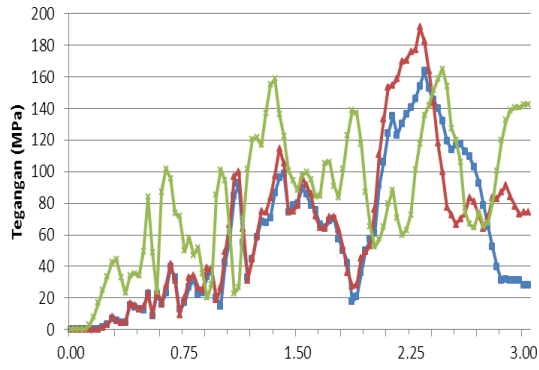
Gambar 11. Grafikdisplacement parameter bentuk



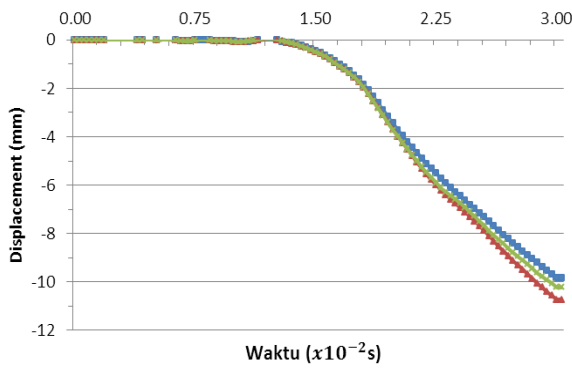
Gambar 12 Grafik kecepatan pendulum parameter bentuk

Dari Gambar 10,11 dan 12 ,apabila kondisi impact yang terjadi adalah kecepatan rendah maka penulis memilih desain 4 menjadi desain terbaik karena desain tersebut mengalami tegangan von mises yang relatif rendah sehingga relatif aman karena luas area yang dimiliki desain 4 tertinggi dari pada desain lainnya dan mengalami respon tegangan yang rendah akibat beban pendulum. Desain tersebut mengalami gayaimpact yang rendah dan berbanding lurus dengan faktor impactnya.

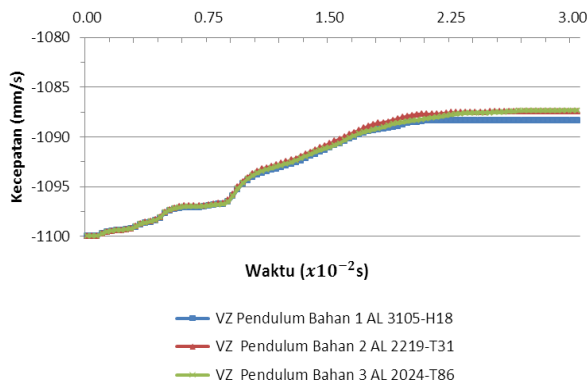
B. Parameter bahan



Gambar 13. Grafik tegangan von mises parameter bahan



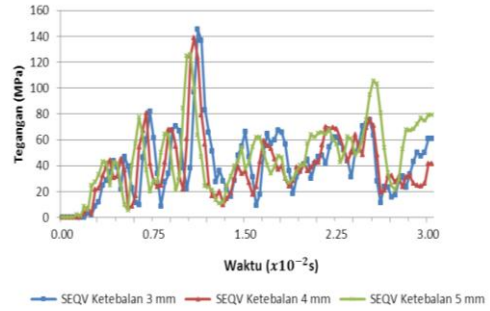
Gambar 14. Grafikdisplacement parameter bahan



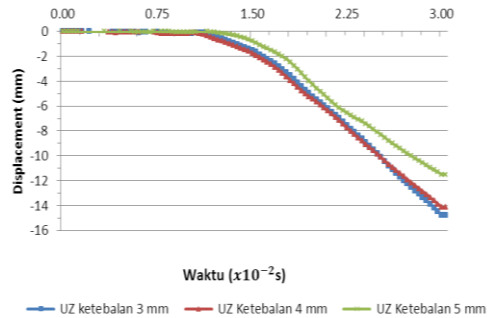
Gambar 15. Grafik kecepatan pendulum parameter bahan

Dari gambar 13,14 dan 1, apabila kondisi *impact* yang terjadi adalah kecepatan rendah maka penulis memilih Bahan 2 AL 2219-T31 menjadi bahan desain terbaik karena desain tersebut mengalami tegangan *Von Mises* masih dibawah kekuatan luluh bahannya dan kekuatan luluh dari bahannya adalah 42,47% dari bahan pendulum sesuai standar ECE R.42

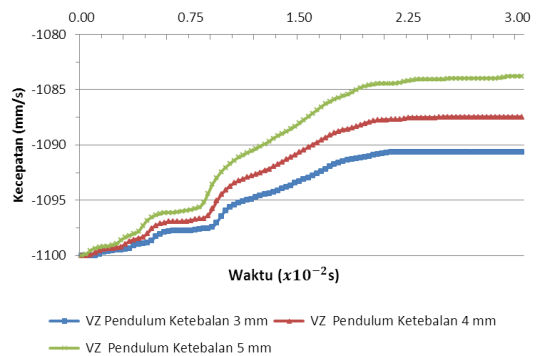
C. Parameter ketebalan



Gambar 16. Grafik tegangan von mises parameter ketebalan



Gambar 17. Grafikdisplacement parameter ketebalan



Gambar 18. Grafik kecepatan pendulum parameter ketebalan

Nilai (-) adalah searah dengan nilai inputnya (-1100 mm/s searah sumbu Z).Kecepatan kendaraan (nodal masa) adalah nol dan nilai kecepatan setelah tumbukan pada pendulum menunjukkan kemampuan penyerapan energi secara kasar. Nilai kecepatan maksimum adalah ketebalan 3 mm (-1083,80mm/s). Jadi apabila dilihat dari respon kecepatan setelah tumbukan maka ketebalan 5 mm yang paling besar menyerap energinya.Namun yang menjadi masalah adalah berat dari struktur itu sendiri sehingga penulis mengambil keputusan yang menjadi parameter ketebalan adalah ketebalan 4 mm karena relatif aman dan tidak terlalu berat.

D. Parameter absorber

Berdasarkan parameter absorber maka kemampuan dari struktur bumper belakang adalah

$$T_{input} = \frac{1}{2} m_A v^2_A = \frac{1}{2} (471,192)(1,1)^2 = 285,07 J$$

$$T_{output} = \frac{1}{2} m_A v'_A{}^2 + \frac{1}{2} m_B v'_B{}^2$$

$$T_{output} = \frac{1}{2} (471,192) - 1,08656^2 + \frac{1}{2} (1500) 0^2$$

$$T_{output} = 278,15 J$$

$$\Delta E = T_{input} - T_{output}$$

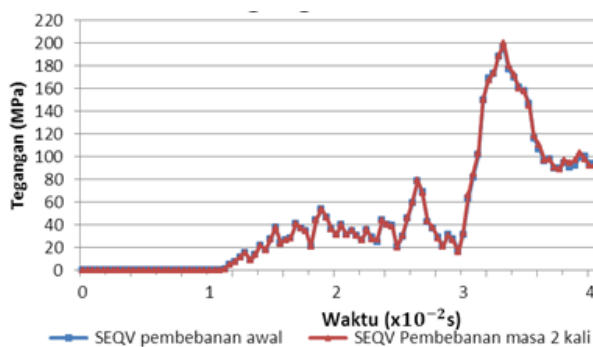
$$\Delta E = 285,07 J - 278,15 J = 6,922 J \text{ atau } 2,43 \% \text{ dari inputnya.}$$

Kemampuan menyerap energi adalah 2,43 %. Selain melakukan analisa beban pendulum sesuai dengan ECE, penulis melakukan perbandingan dengan memberikan pembebanan pendulum 2x lipat energinya.

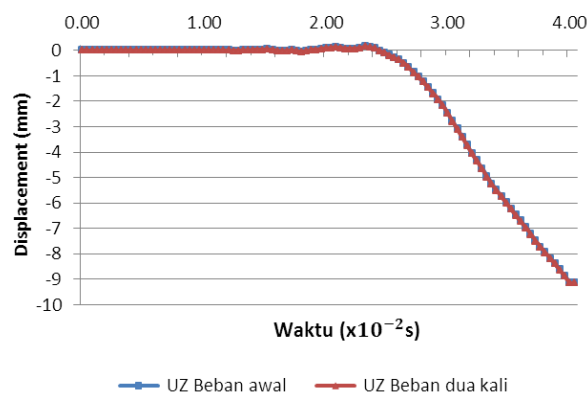
Pembebanan dua kali energi sebelumnya. Masa jenis pendulum (ρ) adalah 7860 kg/mm³ maka apabila melakukan pembebanan 2X dari semula maka masa jenis pendulum menjadi 15720 kg/mm³.

Tabel 3. Hasil pembebanan dua kali energi sebelumnya

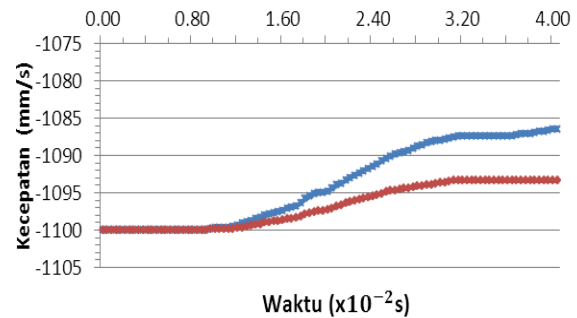
Absorber	Nodal	Von Misses (MPa)	Displacement (mm)	Nodal pendulum	Kecepatan pendulum
Beban awal	6515	196,39	-9,13	398	-1086,56
Beban dua kali	6515	199,76	-9,15	398	-1093,37



Gambar 19. Grafik tegangan von misses dengan variasi pembebanan



Gambar 20. Grafik displacement dengan variasi pembebanan



— VZ Pendulum Beban awal — VZ Pendulum Beban 2 Kali

Gambar 21. Grafik kecepatan dengan variasi pembebanan

Berdasarkan tabel hasil pembebanan maka desain dengan menggunakan parameter absorber relatif masih aman karena kondisinya masih dibawah dari kekuatan luluhnya. menggunakan parameter absorber untuk pembebanan dua kali mengalami kenaikan displacement sebesar 0,02 mm.

KESIMPULAN

Dari analisa uji *impact* pada struktur bumper belakang, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemodelan uji *impact bumper* belakang kendaraan SUV dengan 4 model desain yang dibangun menggunakan *software* CATIA V5R17 dan kemudian dianalisa dengan *software* ANSYSLS-DYNA.
2. Hasil analisa uji *impact* pada struktur bumper belakang dengan beberapa parameter sebagai berikut:

A. Parameter bentuk

Berikut adalah hasil analisa dari parameter bentuk :

- Tegangan *von misses*
Nilai tegangan *von misses* untuk parameter bentuk dari empat desain yang dianalisa adalah 540,76 Mpa (desain1), 448,65 Mpa (desain2), 444,50 Mpa (desain 3) dan 328,25 Mpa (desain 4). Bila ditinjau dari kriteria perancangan maka desain yang paling aman adalah desain 4 karena nilai tegangan *vonmissesnya* paling rendah.
- Displacement
Nilai *dislacement* untuk parameter bentuk dari empat desain yang dianalisa adalah -33,51 mm (desain1), -11,04 mm Mpa (desain2), -4,40 mm (desain 3) dan -2,63 mm (desain 4). Bila ditinjau dari tegangan *vonmissesnya* maka nilai *displacementnya* berbanding lurus.
- Kecepatan
Nilai kecepatan untuk parameter bentuk adalah -1071,29mm/s (pendulum desain 1), -1065,42 mm/s (pendulum desain 2), -1075,20 mm/s (pendulum desain 3), -1065,04 mm/s (pendulum desain 4).

Apabila kondisi *impact* yang terjadi adalah kecepatan rendah maka penulis memilih desain 4

menjadi desain terbaik karena desain tersebut mengalami tegangan *von misses* yang relatif rendah berarti faktor *impactnya* rendah.

B. Parameter bahan

Berikut adalah hasil analisa dari parameter bahan :

- Tegangan *von misses*
Nilai tegangan *von misses* untuk parameter bentuk dari empat desain yang dianalisa adalah 163,43 Mpa (Bahan 1 AL 3105-H18), 191,35 Mpa (Bahan 2 AL 2219-T31), dan 165,03 Mpa (Bahan 3 AL 2024-T86). Bila ditinjau dari kriteria perancangan maka desain yang paling aman adalah Bahan 2 AL 2219-T31 karena nilai tegangan *vonmissesnya* 15,35% dari kekuatan luluhnya.
- Displacement
Nilai *dislacement* untuk parameter bentuk dari empat desain yang dianalisa adalah -9,83 mm (Bahan 1 AL 3105-H18), -10,73mm Mpa (Bahan 2 AL 2219-T31), dan -10,22 mm (Bahan 3 AL 2024-T86).
- Kecepatan
Nilai kecepatan untuk parameter bentuk adalah -1088,33 mm/s (Bahan 1 AL 3105-H18), -1087,46 mm/s (Bahan 2 AL 2219-T31), -1087,35 mm/s (Bahan 3 AL 2024-T86).

Bahan 2 AL 2219-T31 mempunyai modulus elastisitas yang terbesar dari ketiga bahan yang dimodelkan (73,1 GPa). Respon tegangan berbanding lurus dengan modulus elastisitas bahan. Apabila dilihat dari kekuatan luluh dari bahan material yang dimodelkan maka responnya adalah 84,68% Sy bahan 1 AL 3105-H18, 77,16% Sy bahan 2 AL 2219-T31, 37,51% Sy bahan 3 AL 2024-T86.

C. Parameter ketebalan

Berikut adalah hasil analisa dari parameter ketebalan :

- Tegangan *von misses*
Nilai tegangan *von misses* untuk parameter bentuk dari empat desain yang dianalisa adalah 145,129 Mpa (Ketebalan 3 mm), 138,632 Mpa (Ketebalan 4 mm), dan 125,902 Mpa (Ketebalan 5 mm). Bila ditinjau dari kriteria perancangan maka desain yang paling aman adalah ketebalan 4 mm.
- Displacement
Nilai *dislacement* untuk parameter bentuk dari empat desain yang dianalisa adalah -14,81 mm (Ketebalan 3 mm), -14,13 mm (Ketebalan 4 mm), -11,52 mm (Ketebalan 5 mm).
- Kecepatan
Nilai kecepatan untuk parameter bentuk adalah -1090,66 mm/s (Ketebalan 3 mm), -1087,46 mm/s (Ketebalan 4 mm), -1083,80 mm/s (Ketebalan 5 mm).

Bila ditinjau dari kriteria perancangan maka desain yang paling aman adalah ketebalan 4 mm karena tidak terlalu berat.

D. Parameter absorber

Nilai tegangan *von misses* untuk parameter absorber adalah 196,39 Mpa (nodal 6515), displacement - 9,13 mm(nodal 6515) dan kecepatan pendulum setelah tumbukan adalah -1086,56 mm/s dan kendaraan 0 mm/s. Hasil pembeban dua kali masih aman karena kondisinya masih dibawah dari kekuatan luluhnya

4. Parameter yang mempengaruhi *impact* adalah bentuk, jenis material (bahan), ketebalan struktur.

SARAN

Analisa distribusi tegangan dalam tugas akhir ini sangat terbatas untuk struktur *bumper* belakang sehingga perlu dilakukan analisa desain optimasi untuk mendapatkan desain yang efektif. Misalnya optimasi dimensi dengan menggunakan analisa implicit dinamis. Selain itu juga perlu adanya optimasi pada bagian sambungan-sambungan pada struktur *bumper* belakang dengan dudukan (sambungan las).

REFERENSI

1. Javad, Marzbanrad. Masoud, Alijanpour. Mahdi, Saeid Kiasat, *Design and analysis of an automotive bumper beam in low-speed frontal crashes*, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, Elsevier, 2009; 47-902-911.
2. *Steel Bumper Systems for Passenger Cars and Light Trucks* Fourth Edition, Steel Market Development Institute, 2011.
3. Guoxing, Lu. Tongxi, Yu. *Energy absorption of structures and materials*, CRC Press LLC, New York, 2003.
4. Lorenzo, Morello. Lorenzo, Rosti Rossini. Giuseppe, Pia. Andrea, Tonoli. *The Automotive Body, Volume 1, Components Design*, Springer, 2011.
5. Agreement Concerning The Approval Of Vehicles With Regard To Their Front And Rear Protective Devices (*Bumpers*, Etc.), Addendum 41, Regulation No. 42 Geneva, 1980.
6. Shigley, Joseph E dan Budynas, Nisbett, *Mechanical Engineering Design*, Edisi Kedelapan, Mc Graw Hill.
7. Popov, E P. Zaenal Astamar, *Mekanika Teknik*, Edisi Kedua, Erlangga, 1996.
8. Dietmar, Gross. Werner, Hauger. Jorg, Schroder. Wolfgang, A. Wall. Javier, Bonet. *Engineering Mechanics 2, Mechanics of Materials*, Springer, New York, 2011.
9. <http://en.wikipedia.org/wiki/Stress> (mechanics) (diakses pada tanggal 08 Desember 2011 jam 16:50 WIB).
10. Lecture 3 Engineering 473, *Stress at a Point*, Machine Design, University Of Tennessee, Martiin.

11. Ferdinand, P. Beer, E. Russell Johnston, Jr, David, F. Mazurek, Phillip, J. Cornwell, Rose-Hulman, Elliot R. Eisenberg, *Vector Mechanics For Engineers , Statics and Dynamics*, Edisi Kesembilan, Mc Graw Hill, New York, 2010.
12. Hibbeler, R. C. *Engineering Mechanics, Dynamics*, edisi kedua belas, Prentice Hall, New Jersey, 2010.
13. <http://en.wikipedia.org/wiki/CATIA> (diakses pada tanggal 05 Desember 2011 jam 19.15 WIB).
14. CATIA V5, *Basic design theory*, Unico Media GmbH, Munchen, 2002.
15. ANSYS LS-DYNA User's Guide, Release 12.0, ANSYS Inc, 2009.
16. M.M, Davoodi. S.M, Sapuan. D., Ahmad. A., Aidy. A., Khalina. Mehdi, Jonoobi, Concept selection of car *bumper* beam with developed hybrid bio-composite material, University Putra Malaysia, Elsevier, 2011; 4857–4865.
17. <http://nissan.com.au/webpages/models/X-TRAIL.html#/specification> (diakses pada tanggal 10 Desember 2011 jam 19.18 WIB).
18. CATIA V5, *Advanced surface design theory*, Unico Media GmbH, Munchen, 2005.