

STUDI TENTANG FENOMENA COLLAPSE DAN BUCKLING PADA RANGKA BODI MOBIL

Didik Sugiyanto

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta
Jl. Sunter Permai Raya, Sunter Agung Podomoro Jakarta Utara, 14350
E-mail: didiksgy@gmail.com

ABSTRAK

Kondisi yang sering terjadi pada rangka sebuah kendaraan khususnya pada mobil adalah benturan atau tabrakan dengan benda lain, contoh kerusakan tersebut adalah pada rangka atau cassis untuk itu diperlukan desain rangka yang mampu menyerap energi benturan. Karakteristik material sangat dipengaruhi oleh nilai kekakuan dari material tersebut sehingga dalam memilih material perlu diperhatikan properties materialnya. Untuk mendapatkan properties material yang disesuaikan dengan kondisi eksperimen dapat dilakukan uji tarik dan uji tekan. Dalam penelitian ini difokuskan pada rangka dengan sudut 150, 300, dan 450. Hal ini berdasarkan pada studi lapangan bahwa kendaraan terutama mobil untuk angkutan ringan memiliki sudut rangka antara 150 sampai dengan 450. Metode penelitian meliputi desain alat, desain rangka, pengadaan bahan dan alat percobaan, pembuatan alat, pembuatan rangka uji, dan proses pengujian. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tekan untuk mengetahui kekuatan pada rangka. Dari pengujian ini didapatkan gaya maksimal pada sudut 150 adalah 569,76 kg pada jarak 16 mm, sudut 300 adalah 370,3 kg pada jarak 15 mm, sudut 450 adalah 391,71 kg pada jarak 28 mm. Setelah mencapai gaya maksimal maka rangka akan terjadi collapse, diikuti dengan penurunan beban pada jarak berikutnya. Maka dapat disimpulkan bahwa nilai energi regangan yang paling besar terjadi pada sudut 150. Sehingga diketahui bahwa rangka dengan sudut 150 menghasilkan tingkat keamanan yang paling baik.

Kata kunci: *buckling, collapse*, rangka mobil

1. PENDAHULUAN

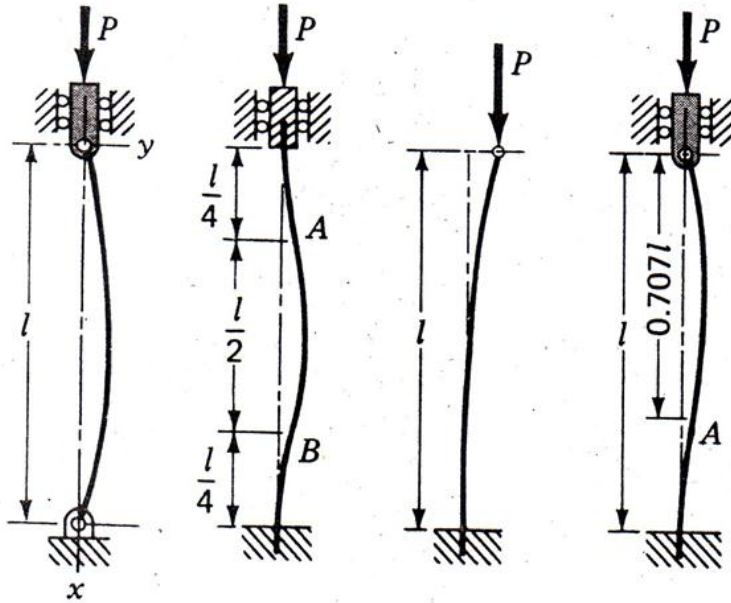
Teknologi di bidang *engineering* dan rekayasa rancang bangun mesin mengharuskan desain yang *optimal* pada rangka automobil dan kendaraan bermotor sehingga memberikan jaminan kenyamanan dan keamanan bagi pengendara. Prinsip utama dari desain dan pembuatan rangka adalah kokoh, ringan, dan anti karat. Rangka mobil yang didesain tidak hanya kokoh, ringan dan mampu menyerap energi tumbukan (*impact*), tetapi juga harus memiliki karakteristik elastisitas yang baik. Dari sifat tersebut maka akan mempengaruhi kerja *engine* karena apabila mobil ringan maka kerja yang dikeluarkan kecil sehingga bahan bakar hemat (ringan = kerja kecil = bahan bakar sedikit)

Tantangan tersebut menuntut para perencana struktur kendaraan untuk menggunakan dan mengembangkan metoda perancangan serta analisa yang modern berbasis komputer. Metode *numeric* yang banyak digunakan pada saat ini adalah Metoda Elemen Hingga (*Finite Element Methods*), penerapan metode ini banyak digunakan oleh para ahli diberbagai kasus antara lain: Siswanto. W.A [1], menganalisa tentang *Tooling Design Optimisation For Multistage Sheet Metal Forming*, Chuzaironi [2] menghitung frekuensi alami *bus Mercedes Benz*.

Honda R&D [3] kondisi yang bisa terjadi pada rangka mobil kejadian yang sering terjadi pada mobil adalah tabrakan/tumbukan (*impact*) dengan kendaraan atau mobil lain dan dengan sesuatu benda yang menyebabkan deformasi, kerusakan pada mobil atau kendaraan terutama bagian bodi dan rangka (*cassis*). Untuk itu diperlukan desain rangka yang mampu menyerap energi pada saat terjadi tabrakan (*impact*) dengan benda lain.

Menurut Bourke [4] Fenomena *impact* dan *buckling* pada material yang memiliki sifat kekakuan sangat sulit untuk dianalisa karena terjadi kondisi yang sangat kompleks pada saat terjadi kontak antara material logam satu dengan yang lain, diantaranya adalah deformasi dan pergeseran (*friction*) molekul logam.

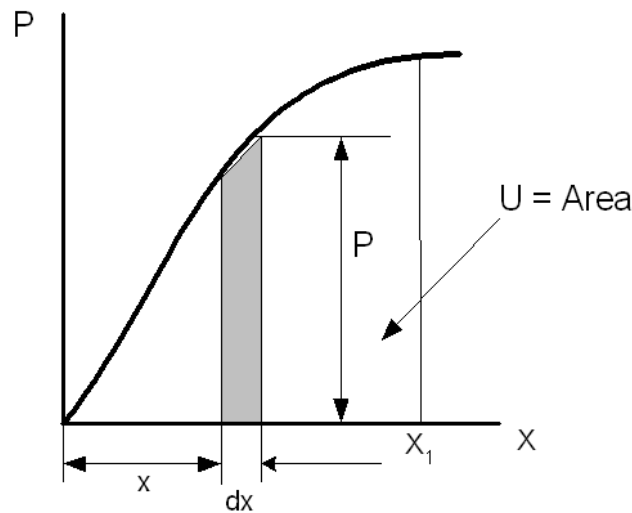
Shigley dan Mitchell [5] menyatakan bahwa suatu batang pendek yang dibebani gaya tekan murni oleh gaya P yang bekerja sepanjang sumbu tengah akan memendek, sesuai dengan hukum Hooke, sampai tegangan mencapai batas elastis dari bahan. Kalau P masih terus dinaikkan, bahan akan menonjol dan terdesak menjadi cakra yang datar atau retak. Ketika suatu batang panjang, kecil, dan lurus dibebani gaya tekan murni oleh gaya P yang bekerja sepanjang sumbu batang, sementara P terus naik dari nol maka batang akan memendek mengikuti hukum Hooke. Hal ini akan terjadi jika batang tersebut cukup panjang, sementara P terus naik mendekati harga kritis yang dinyatakan dengan P_{cr} . Berkaitan dengan kondisi keseimbangan yang tidak stabil, pada titik ini setiap bengkokan (*buckling*) kecil dari batang atau sedikit pergeseran beban atau tumpuan akan menyebabkan batang rubuh (*collapse*) karena tekukan. Untuk kriteria keamanan terdiri dari perbandingan antara beban sebenarnya dengan beban kritis. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 1.



Gambar 1. (a) kedua ujung membulat atau bersumbu; (b) kedua ujung mati; (c) satu ujung bebas dan ujung yang lain mati; (d) satu ujung bulat dan dan terarah dan ujung lain mati

Pada studi dan eksperimen *Collapse and Buckling* rangka mobil perlu diperhatikan sifat mekanik yang dimiliki material antara lain kekuatan (*strength*), keliatan (*ductility*), kekerasan (*hardness*), dan kekuatan lelah (*fatigue*). Sebuah plat yang dikenai beban atau gaya akan mengalami deformasi, pada pembebanan dibawah titik luluh deformasi akan kembali hilang hal ini disebabkan material memiliki sifat elastis. Jika beban ditingkatkan sampai melewati titik luluh maka deformasi akan terjadi secara permanen atau terjadi deformasi plastis, tetapi apabila ditingkatkan hingga melewati tegangan maksimal maka material akan mengalami patah, Timoseuko [6].

Energi Regangan (Strain Energy), konsep energi regangan yang utama digunakan dalam menentukan efek dari beban kejut (*Impact loading*) pada struktur atau komponen mesin. Penentuan rumusan energi regangan sama dengan luasan dibawah kurva tegangan-regangan pada Gambar. 2 di bawah, luasan sama dengan lebar dx dan beban P . Kerja total U ditentukan oleh perpanjangan deformasi x_1 , sehingga energi regangan bisa ditulis : $dU = P \cdot dx$



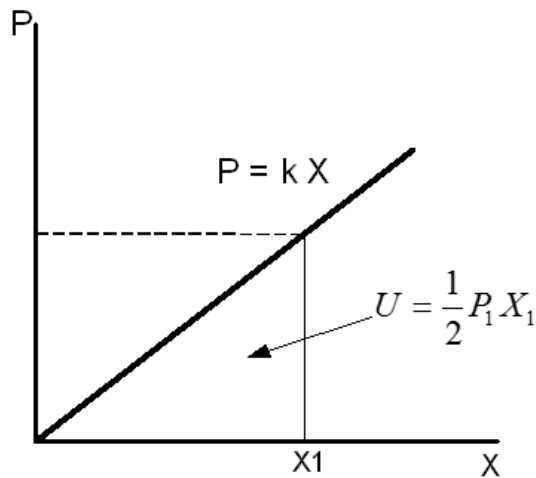
Gambar 2. diagram Energi Regangan

Dengan mengintegalkan luasan dibawah kurva tegangan – regangan diperoleh persamaan:

$$U = \int_0^{x_1} P dx$$

Pada kasus deformasi elastis dan linier, besarnya diagram deformasi beban secara keseluruhan bisa ditunjukkan oleh persamaan garis lurus,

$$P = k \cdot x$$



Gambar 3. Diagram deformasi beban

Substitusi P pada persamaan energi regangan adalah:

$$\begin{aligned} U &= \int_0^{x_1} k x dx \\ &= \frac{1}{2} k x^2 \end{aligned}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan diatas dengan persamaan garis lurus $P_1 = k \cdot x_1$, diperoleh persamaan energi regangan:

$$U = \frac{1}{2} P_1 x_1$$

dimana P_1 adalah harga dari beban yang sesuai untuk deformasi x_1 .

Konsep dasar metode elemen hingga adalah proses diskritisasi atau pembagian suatu kontinum menjadi beberapa bagian yang lebih kecil, bagian – bagian kecil ini disebut elemen hingga. Dinamakan elemen hingga karena ukuran elemen ini kecil berhingga dan umumnya mempunyai bentuk geometri yang lebih sederhana dibandingkan dengan kontinumnya, Weaver [7].

Dengan menggunakan metode elemen hingga jumlah derajat kebebasan kontinyu yang tidak berhingga dapat didekati dengan jumlah derajat kebebasan tertentu, sehingga pemecahannya menjadi lebih sederhana.

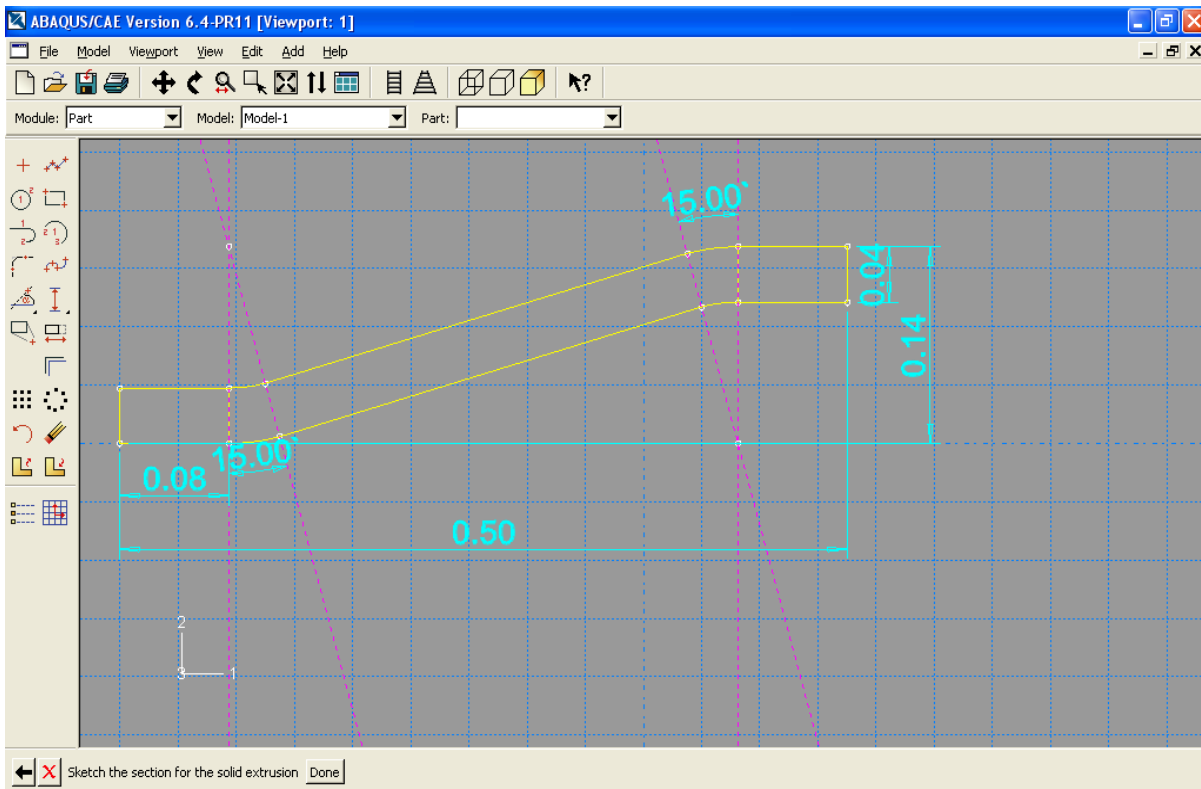
Pada penelitian yang akan dilakukan ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui desain rangka yang mampu menyerap energi *impact* dengan maksimal.
2. Mengetahui karakteristik *impact* pada model rangka bodi mobil sudut 15°, 30°, dan 45°.
3. Mengetahui energi regangan yang terjadi pada masing-masing model rangka.
4. Mengetahui tegangan maksimal pada masing-masing model rangka.
5. Menganalisa dan mengetahui korelasi eksperimen dengan simulasi program ABAQUS.

2. MATERIAL DAN METODOLOGI

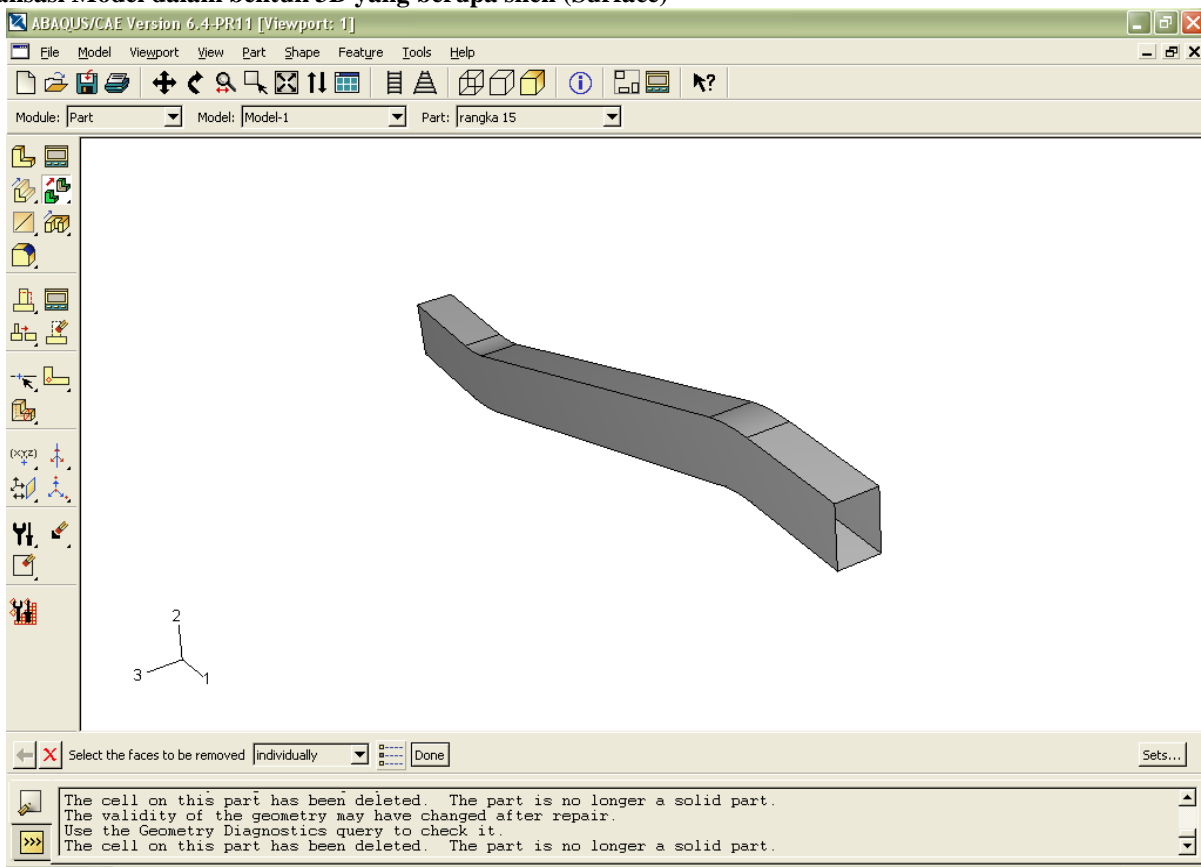
METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah desain dan Pengujian dengan Program ABAQUS



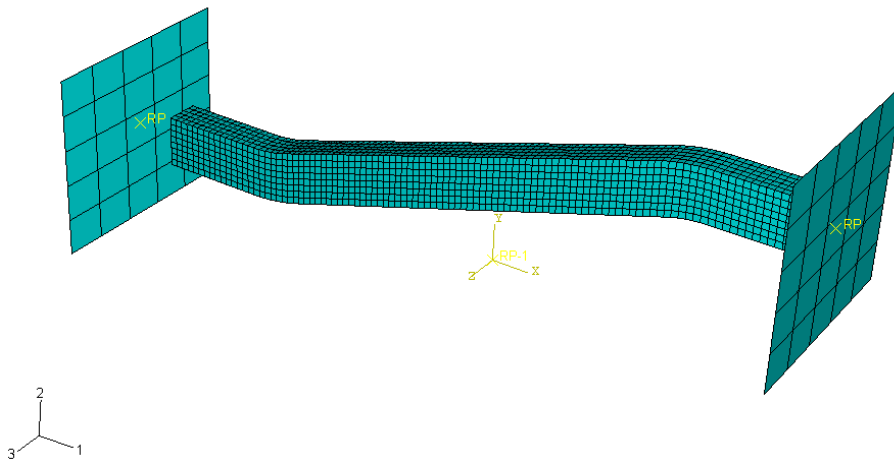
Gambar 4. Gambar dua dimesi dari rangka 15°

Realisasi Model dalam bentuk 3D yang berupa shell (Surface)



Gambar 5. Bentuk tiga dimensi rangka 15°

Bentuk rigid surface dalam bentuk planar

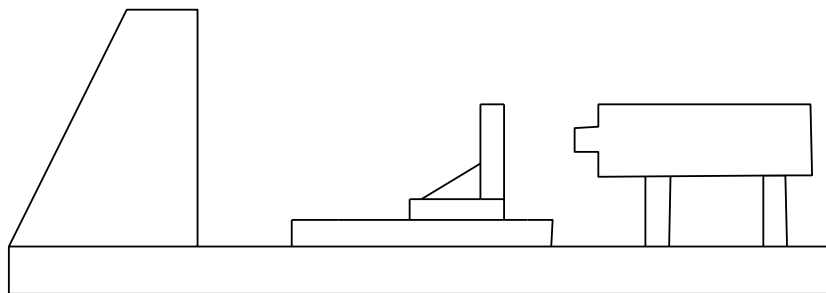


Gambar 6. rangka dan benda rigid yang dimesh

Untuk menganalisa dilakukan pada modul job, dari job ini dapat dimonitor selama proses analisa setelah job menyatakan complete maka hasil running dapat divisualisasikan dan dapat melihat hasilnya berupa simulasi. Untuk hasil lain dapat dilihat pada report. Langkah yang sama juga dilakukan pada rangka 30° dan 45°.

Langkah-langkah desain Eksperimen

Persiapan eksperimen meliputi desain alat, desain rangka, pengadaan bahan dan alat percobaan, pembuatan alat, pembuatan rangka uji, dan proses pengujian.



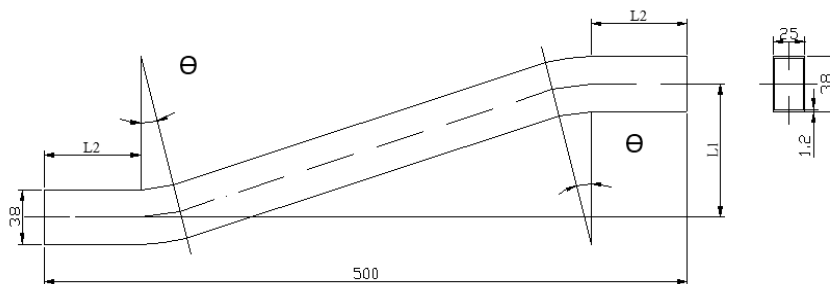
Gambar 7. Desain alat uji

Desain Rangka

Meliputi desain rangka dengan 3 sudut berbeda (15°, 30°, dan 45°) dengan data sebagai berikut:

Tabel 1. Data desain rangka

Rangka	Sudut, θ	L_1 (mm)	L_2 (mm)	Panjang Horisontal (mm)
1	15°	97	75	500
2	30°	158	75	500
3	45°	173	75	500



Gambar 8. Desain rangka uji

Prosedur Pelaksanaan Pengujian Eksperimen

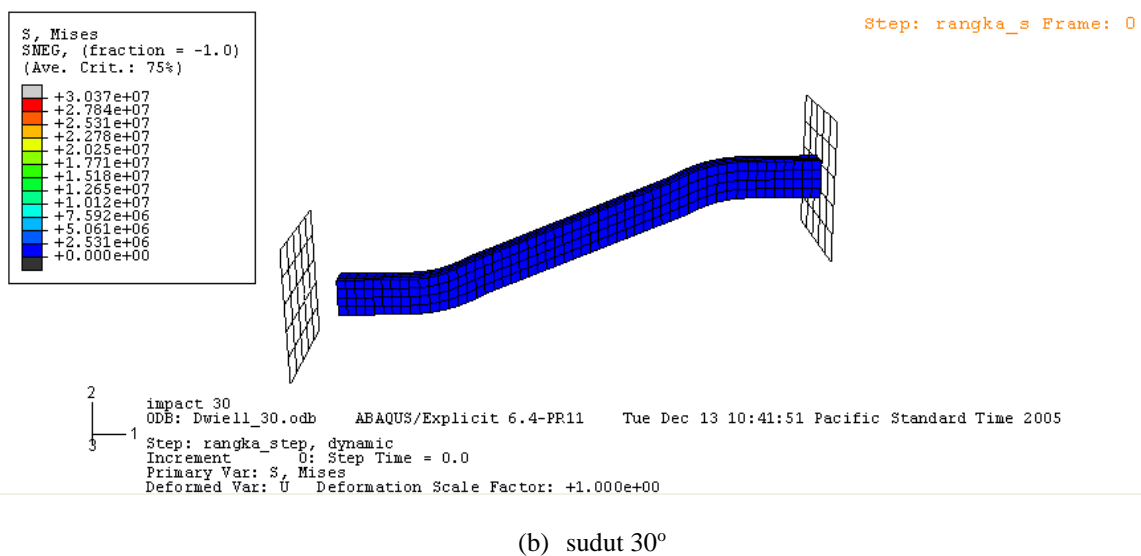
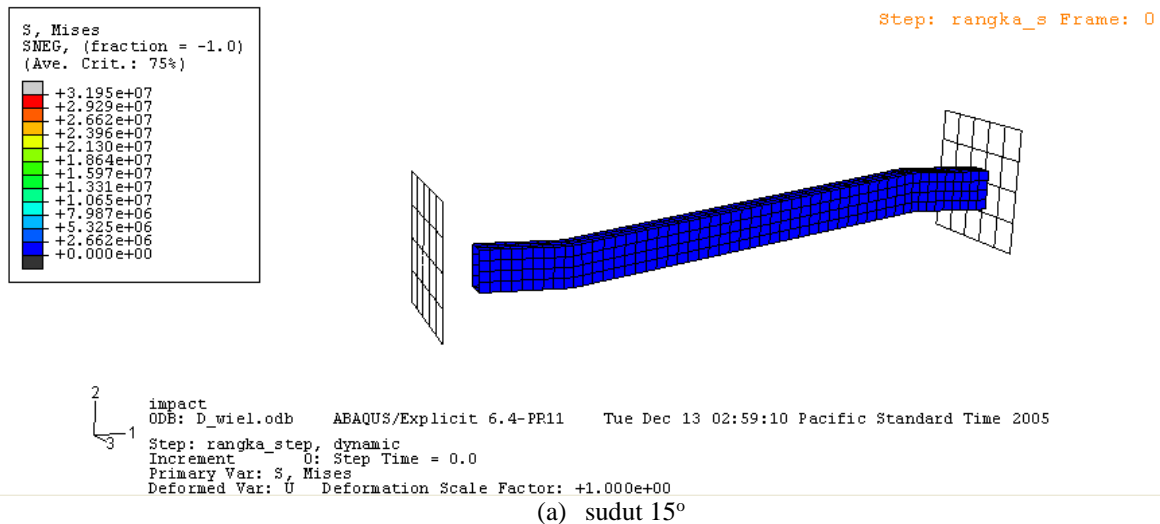
Pengujian dilakukan setelah alat uji *collapse and buckling* serta rangka yang akan diuji diselesaikan pembuatannya dan juga penyiapan alat bantu lainnya yang akan digunakan dalam proses eksperimen ini. Adapun langkah pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

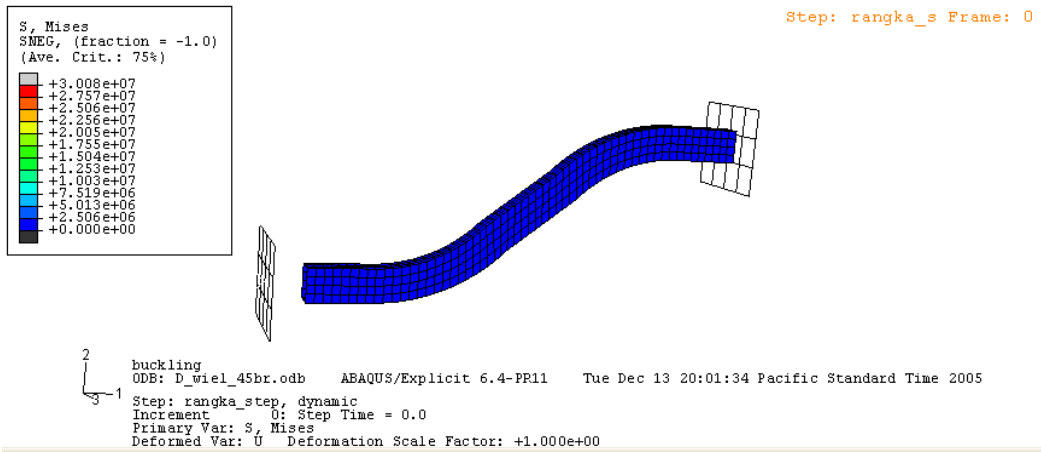
1. Menempelkan rangka uji dengan *support* dan plat pada *slid ekor burung* dengan cara dibaut, rangka uji harus menempel dengan *support* dan *plat* secara tegak lurus sesuai dengan sudut masing-masing rangka uji (15°, 30°, 45°).
2. Setelah rangka uji benar-benar menempel dengan tepat kemudian baut yang berfungsi untuk mengencangkan plat rangka dengan plat yang terdapat pada *slid* dilepas. Khusus untuk dua lubang dibawah hanya mur yang dilepas dan baut masih tetap menempel.
3. Dongkrak hidrolik dipompa dengan jarak yang telah ditentukan. Pada langkah ketiga ini kita harus mengamati *displacement* (jarak) dongkrak dan tekanan pada *pressure gauge* secara teliti dan cermat sehingga tidak terjadi kesalahan yang *fatal* saat pengambilan data.
4. Dongkrak hidrolik dipompa sampai rangka mengalami *collapse* (sudah terjadi tegangan maksimal).
5. Ulangi langkah-langkah diatas untuk rangka uji dengan sudut yang berbeda supaya diperoleh data yang bervariasi untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya *collapse and buckling*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Posisi Rangka Sebelum Tabrakan

Simulasi sebelum rangka bertabrakan, Posisi rangka 15°, 30° dan 45° adalah 0, Step time 0,00 dengan increment 0.

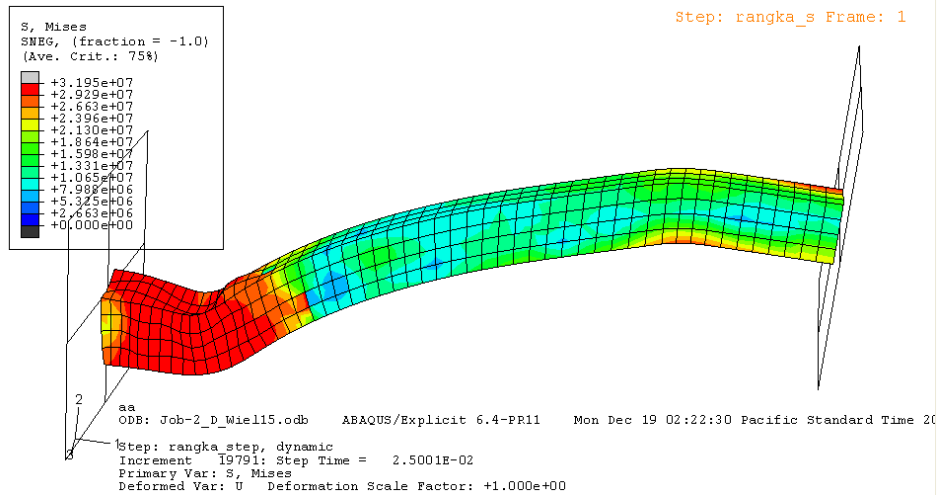




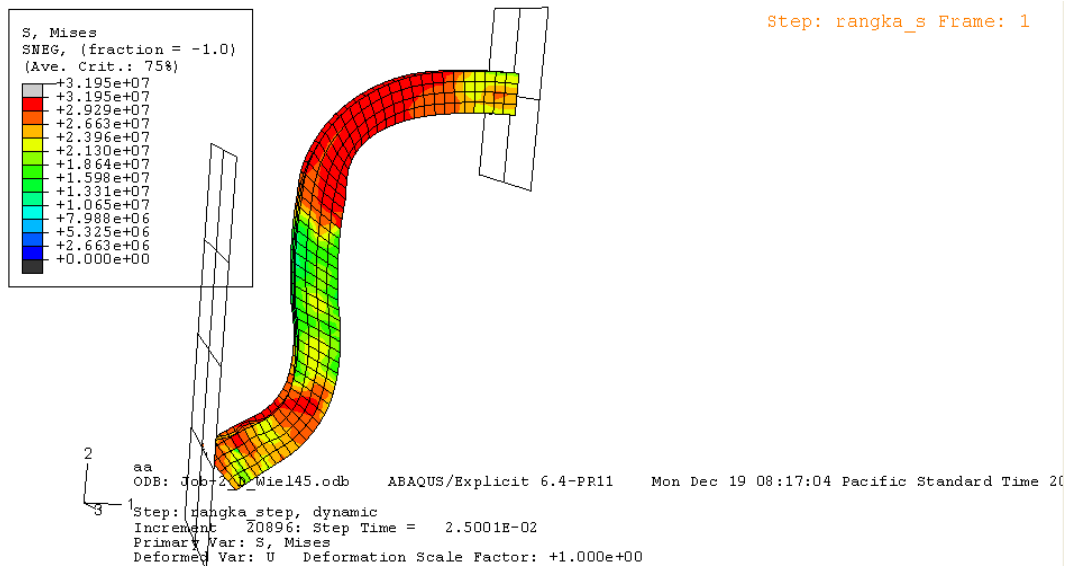
(c) sudut 45°

Gambar 9. Posisi sebelum Rangka mengalami tabrakan

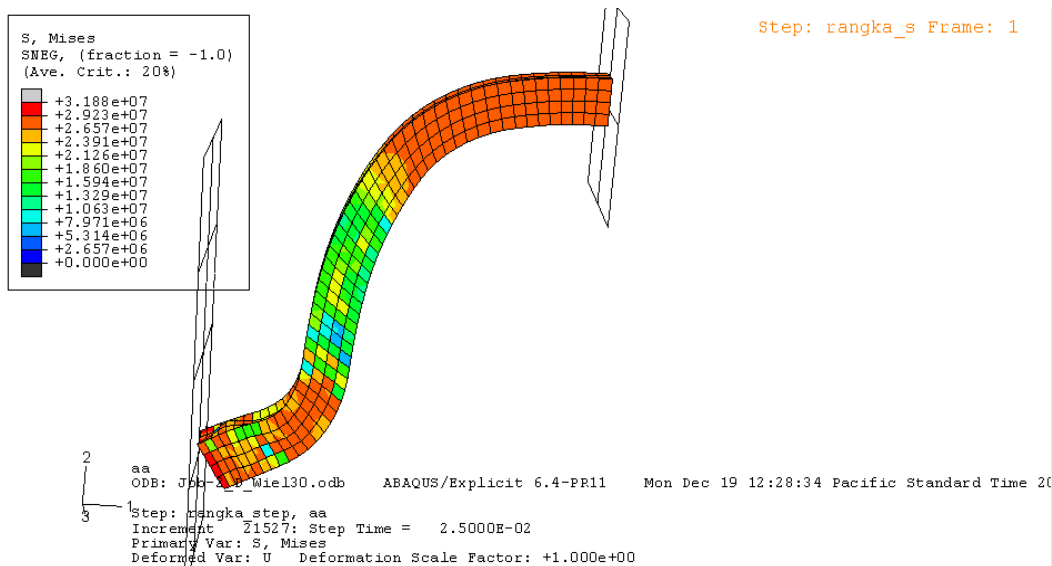
Posisi Rangka pada saat terjadi Tabrakan



(d) rangka sudut 15°



(e) rangka sudut 30°



(f) rangka sudut 45°

Gambar 10. Rangka yang mengalami tabrakan

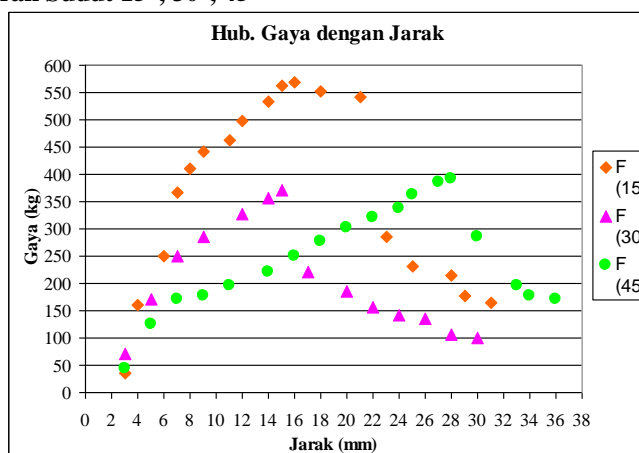
Pada kondisi seperti gambar hasil simulasi diatas rangka mengalami *buckling* pada bagian radiusnya. Kondisi tersebut terjadi karena adanya konsentrasi tegangan pada bagian yang memiliki radius. Tabrakan tersebut menyebabkan deormasi plastis pada rangka, dengan adanya deformasi plastis maka akan terjadi regangan. Regangan ini akan dimanfaatkan untuk mendapat serapan energi kinetik. Pada rangka 15° *Buckling* terjadi pada daerah radius yang ada didepan, selanjutnya energi kinetik diteruskan ke batang.

Setelah mencapai daerah radius yang ada dibelakang maka daerah tersebut akan mengalami *buckling* hal ini juga disebabkan oleh adanya konsentrasi tegangan yang ada di daerah tersebut. Pada rangka 45° saat terjadi tabrakan kedua daerah radius mengalami *buckling* karena energi kinetik langsung diteruskan dari depan sampai ke daerah radius yang ada dibelakang. Hal ini disebabkan karena rangka lebih panjang dan memiliki radius yang besar demikian halnya dengan rangka dengan sudut 30°. Fenomena *buckling* ditunjukkan oleh kontur warna merah pada rangka.

4. HASIL ANALISA EKSPERIMEN

Pada pembahasan data hasil eksperimen ini akan menjelaskan hasil dari eksperimen dan analisis perhitungan dengan menggunakan grafik.

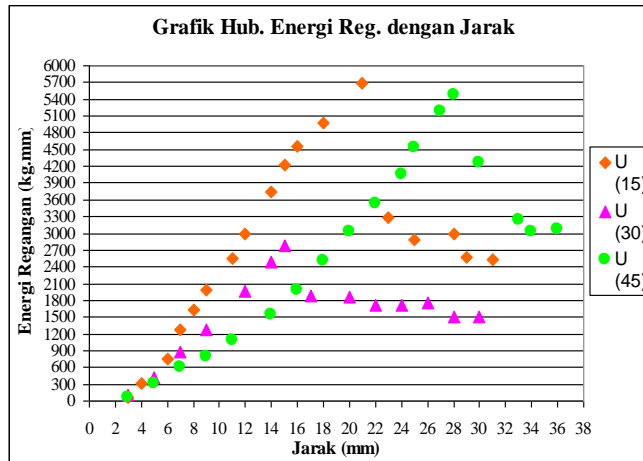
Hubungan Gaya dengan Jarak Sudut 15°, 30°, 45°



Gambar 11. Grafik hubungan gaya dengan jarak pada sudut 15°, 30° dan 45°

Dari Gambar 6 diatas dapat diambil kesimpulan bahwa setelah mengalami beban puncak rangka akan mengalami *collapse*, sehingga rangka akan mengalami penurunan kemampuan dalam menahan gaya. Dari ketiga sudut yang kita uji, ternyata gaya terbesar hingga mencapai batas antara *buckling* dengan *collapse* terjadi pada sudut 15° dengan jarak yang tidak terlalu besar.

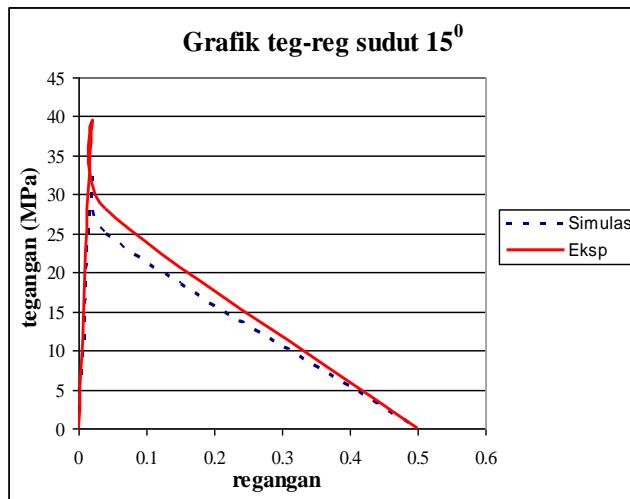
Hubungan Energi Regangan dengan Jarak Sudut 15°, 30°, 45°



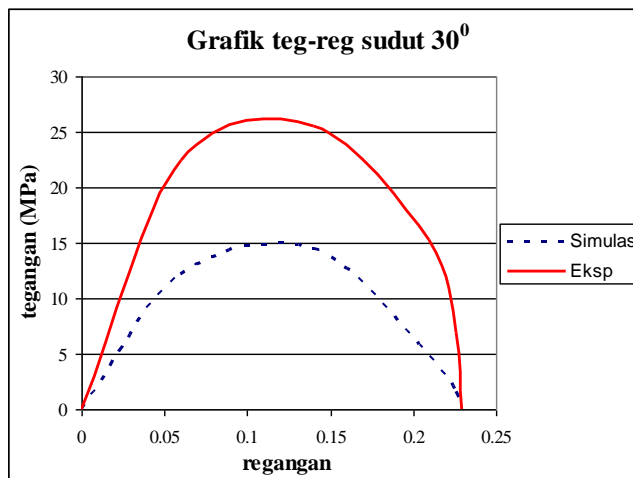
Gambar 12. Grafik hubungan energi regangan dengan jarak pada sudut 15°, 30° dan 45°

Dari Gambar 7. diatas dapat diambil kesimpulan bahwa Energi regangan tertinggi terjadi pada sudut 15° dengan jarak sepanjang 21 mm dan energi yang mampu diserap sebesar 5683,36 kg.m.

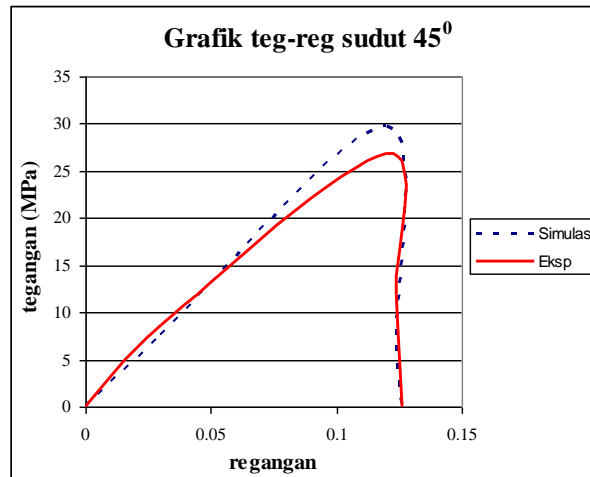
Grafik Tegangan-Regangan pada simulasi dan eksperimen.



Gambar 13. Grafik tegangan-regangan rangka sudut 15°



Gambar 14. Grafik tegangan-regangan rangka sudut 30°



Gambar 15. Grafik tegangan-regangan rangka sudut 45°

Pada grafik tegangan-regangan rangka 15° elemen kritis yang diambil adalah pada elemen 25. Setelah diplot didalam abaqus tegangan terhadap time dan regangan terhadap time selanjutnya diambil tabel dan di gambarkan dalam excel sehingga diperoleh tegangan maksimal adalah 32.1×10^6 Pa sedangkan eksperimen adalah 39.2×10^6 Pa.

Pada grafik tegangan – regangan (b) yaitu pada yaitu rangka 30° elemen kritis yang diambil adalah pada elemen 5. Setelah diplot didalam abaqus tegangan terhadap time dan regangan terhadap time selanjutnya diambil tabel dan di gambarkan dalam excel sehingga diperoleh tegangan maksimal adalah 15.1×10^6 Pa dan eksperimen diperoleh 25.5×10^6 .

Dengan cara yang sama maka pada rangka 45° dengan elemen kritis terletak pada elemen 471 diperoleh harga tegangan maksimal atau tegangan kritis sebesar 29.7×10^6 Pa untuk eksperimen diperoleh 26.9×10^6 .

Grafik tegangan regangan tersebut diatas dapat dibandingkan secara jelas sesuai dengan tabel dibawah:

Tabel 2. tegangan simulasi dan eksperimen

Tegangan pada Eksperimen (Pa)	Tegangan pada Simulasi (Pa)
37.2×10^6	32.1×10^6
25.5×10^6	15.1×10^6
26.9×10^6	29.7×10^6

Dari tabel diatas dapat di ketahui bahwa abaqus dapat digunakan sebagai pendekatan analisis dari suatu model karena hasil mendekati dengan eksperimen dan hasil cukup ideal.

5. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisa numerik eksperimen diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Beban puncak (kritis) dan penyerapan energi tertinggi terjadi pada sudut 15° dengan gaya sebesar 569,76 kg, pada jarak 16 mm dan dengan energi regangan sebesar 5683,36 kg.mm, pada jarak 21 mm.
2. Dari hasil eksperimen, dapat diambil kesimpulan bahwa desain rangka yang paling ideal atau paling aman adalah desain rangka dengan sudut 15°. Karena pada rangka dengan sudut 15° mempunyai nilai energi regangan yang paling besar.
3. Rangka dengan sudut 15° beban puncak (kritis) terjadi pada jarak 16 mm dengan gaya maksimal 569,76 kg. Setelah melampaui gaya maksimal dan jarak 16 mm, rangka akan mengalami *collapse* (runtuh). Rangka dengan sudut 30° beban puncak (kritis) terjadi pada jarak 15 mm dengan gaya maksimal 370,3 kg. Setelah melampaui gaya maksimal dan jarak 15 mm, rangka akan mengalami *collapse* (runtuh). Rangka dengan sudut 45° beban puncak (kritis) terjadi pada jarak 28 mm dengan gaya maksimal 391,71 kg. Setelah melampaui gaya maksimal dan jarak 28 mm, rangka akan mengalami *collapse* (runtuh).
4. Berdasarkan simulasi semakin besar kecepatan yang diberikan maka deformasi yang dialami rangka juga semakin besar, tegangan tertinggi terjadi pada rangka 15° sebesar 32.1×10^6 Pa.
5. Terjadi korelasi antara eksperimen dengan menggunakan program solver abaqus 6.4, dapat dilihat dari hasil analisa tegangan maksimal yaitu secara simulasi sebesar 32.1×10^6 Pa untuk rangka 15°, 15.1×10^6 Pa untuk rangka 30° dan 29.7×10^6 Pa untuk rangka 45°. Sedangkan secara eksperimen diperoleh: 37.2×10^6 untuk rangka 15°, 25.5×10^6 untuk rangka 30° dan 26.9×10^6 Pa untuk rangka 45°.
6. Kontur warna pada viewport menunjukkan daerah yang mengalami tegangan dan regangan maksimal.

6. REFERENSI

- [1] Siswanto, W. A, 2000, *Tooling Design Optimisation for Multistage Sheet Metal Forming*, RMIT Institute of Technology, Melbourne, Australia.
- [2] Chuzaironi, 2003. *Analisis Frekuensi Alami Rangka Bodi Bis Mersedes Benz OH Produk Desain PT. New Armada Magelang*, Tugas Akhir S-1 FTM UMS, Surakarta.
- [3] Honda R & D, 2004, *Quasi-Static Collapse of Spot-Welded, Thin-walled Curved Beams*, Journal ABAQUS Technology Brief, TB-03-TWCB-1.
- [4] Bourke, M. A. M.; Beyerlein, I. J.; Alexander, D. J.; Clausen, B., 2003, *Finite element Analysis of The Plastic Deformation Zone and Working Load in Equal Channel Angular Extrusion*, Journal of Material Processing Technolgy, NM 87545, USA.
- [5] Shigley, J.E; Witchell, L. D, 1991, *Perencanaan teknik Mesin*, Erlangga, Jakarta.
- [6] Timoshenko, S. T.; Goodier, J. N., 1970, *Theory of Elasticity*, McGraw Hill, New York.
- [7] Weaver, W.; Johnsnton, P. R., 1987, *Structural Dynamics by Finite Elements*, Prentice Hall Inc.

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta atas dukungannya dan seluruh dosen Fakultas Teknik atas Kerjasamanya. Selanjutnya kami ucapkan banyak terima kasih kepada Yayasan 17 Agustus 1945 Jakarta terutama untuk sumber pendanaan tercapainya makalah ini.