

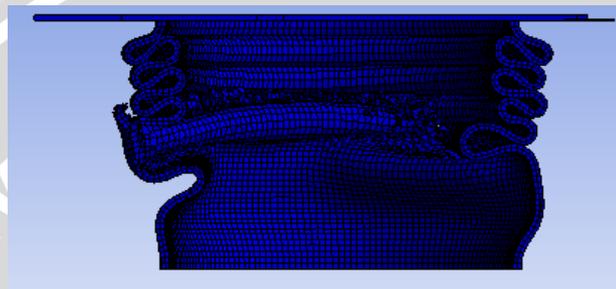
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

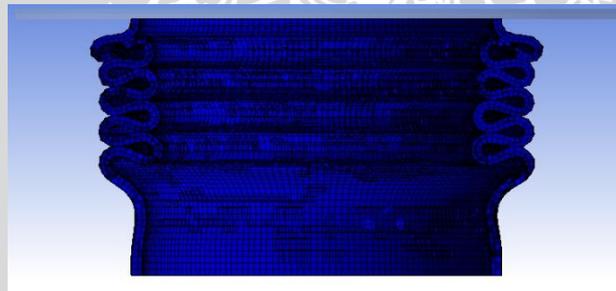
4.1 Hasil

4.1.1 Pola Deformasi *Crash Box*

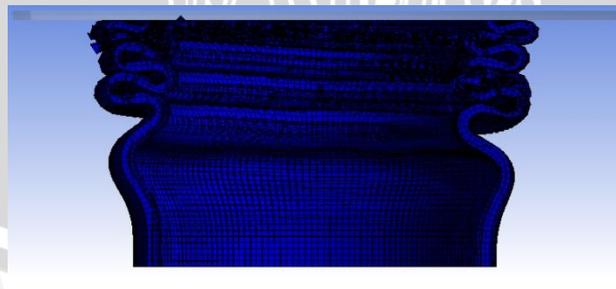
Pola deformasi *crash box* ditampilkan untuk masing-masing *crash box* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1 (a) sampai (f).



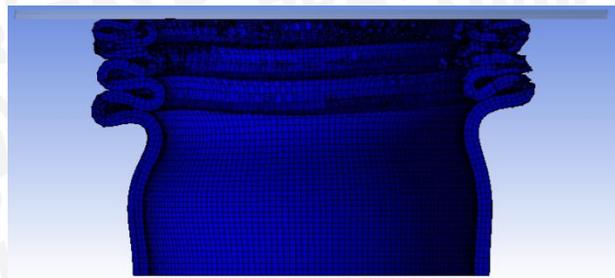
(a)



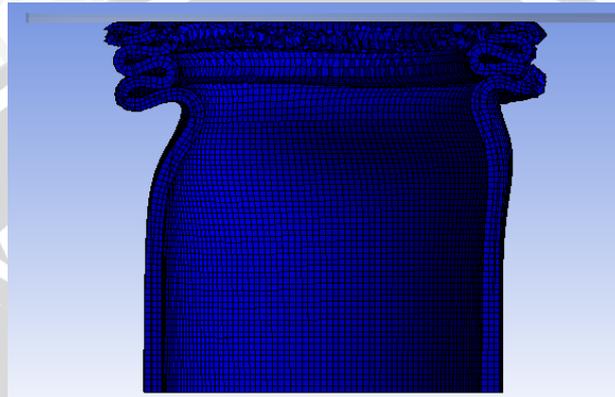
(b)



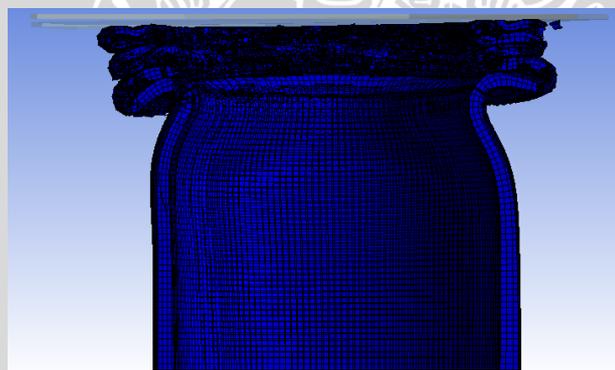
(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 4.1 Pola deformasi *crash box* dengan t_a 1,6 mm dan variasi sudut tirus (α)
(a) 0° ; (b) $0,2^\circ$; (c) $0,4^\circ$; (d) $0,6^\circ$; (e) $0,8^\circ$; (f) $1,0^\circ$

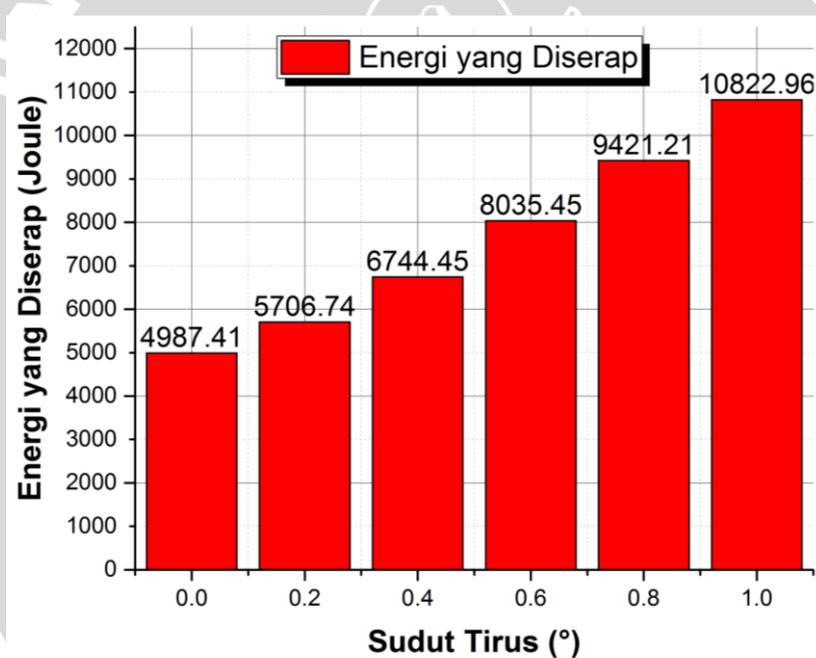
Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa pola deformasi yang terjadi untuk seluruh *crash box* adalah pola aksial, ditunjukkan dengan adanya lipatan-lipatan pada dinding *crash box* yang cenderung aksisimetris dengan mode *concertina* dan pada *crash box* t_a 1,6 α $0,0^\circ$; α $0,8^\circ$; α $1,0^\circ$ menunjukkan deformasi yang diawali dengan pola *concertina* namun pada saat pertengahan deformasi yang terjadi adalah mode *diamond*. Apabila suatu *crash box* telah mengalami deformasi mode *diamond* maka deformasinya tidak akan bisa kembali pada mode *concertina*.

4.1.2 Penyerapan Energi *Crash Box*

Data penyerapan energi oleh *crash box* dengan variasi sudut tirus dinding *crash box* (α) ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data penyerapan energi *crash box*

No	t_a (mm)	α (°)	Penyerapan Energi (J)
1	1,6	0	4987,41
2	1,6	0,2	5706,74
3	1,6	0,4	6744,45
4	1,6	0,6	8035,45
5	1,6	0,8	9421,21
6	1,6	1,0	10822,96



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Penyerapan Energi *Crash Box* dan Besar Sudut Tirus

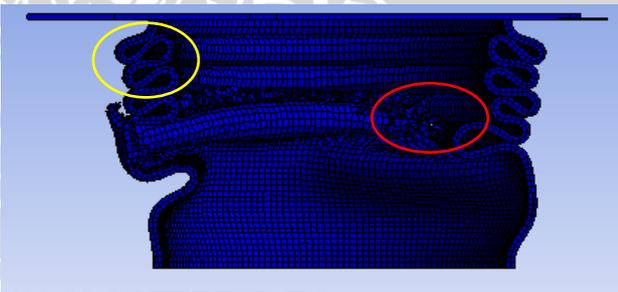
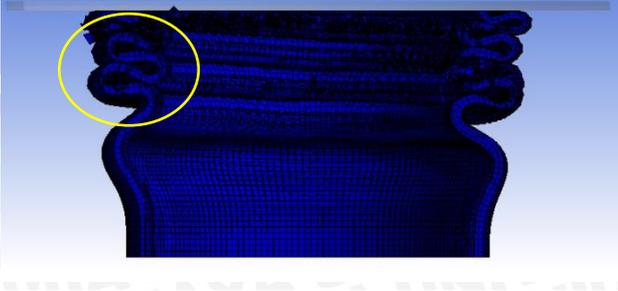
Dari hasil simulasi yang ditunjukkan oleh Tabel 4.1, *crash box* dengan tebal dinding 1,6 mm tanpa ketirusan dinding memiliki penyerapan energi sebesar 4987,41 J. Dari Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa semakin besar sudut tirus dinding *crash box* maka kemampuan penyerapan energi akan mengalami peningkatan.

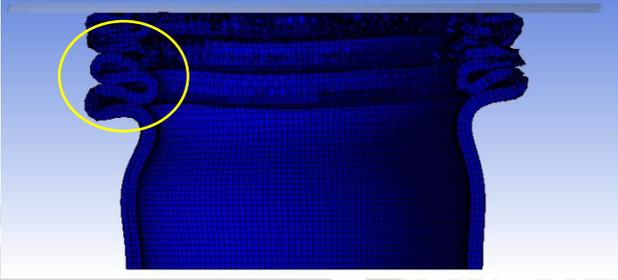
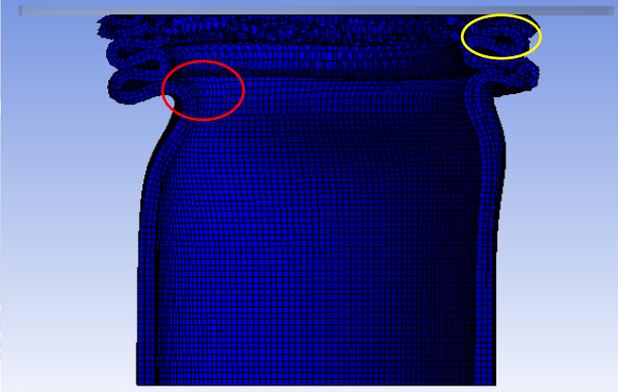
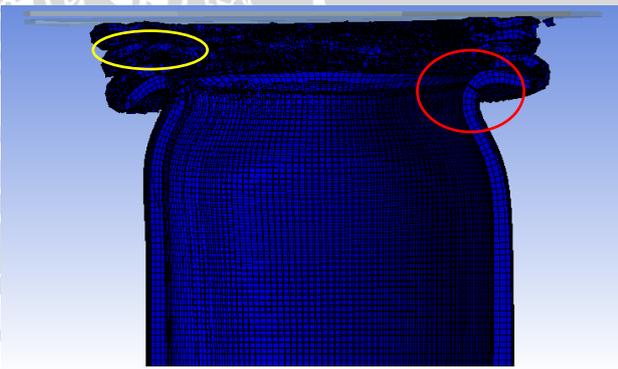
4.2 Pembahasan

4.2.1 Pola Deformasi *Crash Box*

Secara umum pola deformasi yang terjadi untuk seluruh *crash box* telah sesuai dengan yang dikemukakan oleh Velmurugan dan Muralikannan (2009) dalam penelitiannya bahwa pada *axially loaded test*, pola deformasi *crash box* bisa terjadi dalam dua mode yaitu mode aksisimetris atau biasa disebut *concertina* dan mode *diamond* dimana lipatan-lipatan transversal dan longitudinal terbentuk. Pada penelitian ini, setiap *crash box* mengalami pola deformasi awal berupa mode *concertina*. Sedangkan deformasi akhir bisa berupa mode *concertina* maupun *diamond*. Apabila suatu model *crash box* telah mengalami deformasi mode *diamond* maka deformasinya tidak akan bisa kembali ke mode *concertina*.

Tabel 4.2 mode deformasi yang terbentuk

No	t_a (mm)	α (°)	Keterangan gambar (mode <i>concertina</i> dilingkari kuning dan mode <i>diamond</i> dilingkari merah)
1	1,6	0,0	
2	1,6	0,2	
3	1,6	0,4	

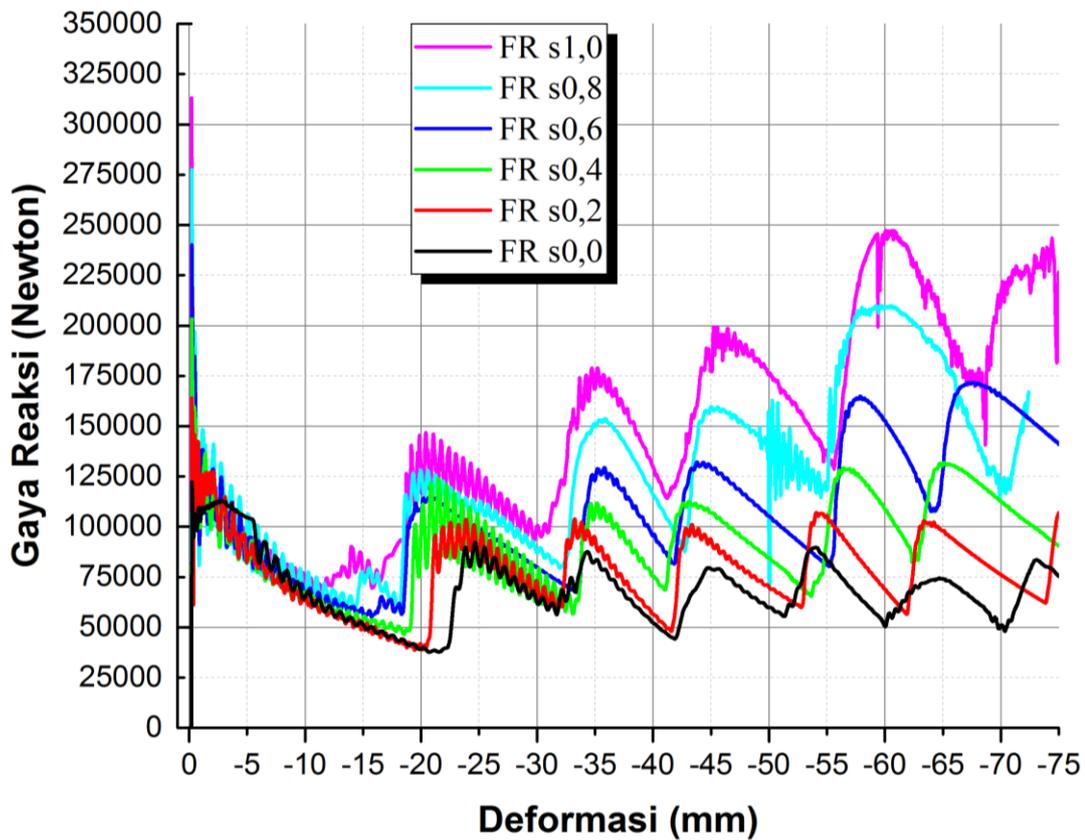
No	t_a (mm)	α (°)	Keterangan gambar (mode <i>concertina</i> dilingkari kuning dan mode <i>diamond</i> dilingkari merah)
4	1,6	0,6	
5	1,6	0,8	
6	1,6	1,0	

Terlihat pada Tabel 4.2 bahwa pada *crash box* t_a 1,6 α 0,0°; α 0,8°; α 1,0° memiliki mode *diamond* pada deformasinya. Hal tersebut bisa dikarenakan ketidakseimbangan *crash box* dalam menerima beban yang disebabkan oleh adanya bagian yang mengalami pecah, sehingga bagian yang mengalami pecah yang lebih sedikit cenderung lebih dapat mempertahankan posisinya terhadap deformasi.

4.2.2 Grafik Hubungan Gaya Reaksi – Deformasi

Pada saat *crash box* menerima beban dari *impactor*, *crash box* memberikan gaya reaksi untuk mencegah terjadinya deformasi. Akibat pembebanan maka *crash box* akan mengalami deformasi seiring dengan pembebanan yang diberikan. Karena *crash box* yang dikenai beban mengalami deformasi seiring dengan waktu tumbukan, maka

besar gaya reaksi yang dilakukan untuk melawan beban tidak sama dan berfluktuasi. Perbedaan gaya reaksi ini disebabkan karena *crash box* yang sudah tidak mempunyai bentuk yang sama dengan kondisi sebelum pembebanan. Fenomena ini dijelaskan melalui hasil simulasi berupa grafik hubungan gaya reaksi dan deformasi berikut



Gambar 4.3 Grafik gaya reaksi - deformasi *crash box* dengan variasi sudut tirus dinding

Gambar 4.3 merupakan grafik hubungan gaya reaksi *crash box* terhadap deformasi. Grafik gaya reaksi - deformasi dibuat dengan menggabungkan grafik gaya reaksi terhadap waktu dan grafik deformasi terhadap waktu yang diperoleh dari *software*. Deformasi diukur pada permukaan *impactor* yang menumbuk *crash box* yang terjadi pada waktu tertentu terhadap titik awal sebelum *crash box* mengalami deformasi. Besar energi yang diserap masing-masing *crash box* dapat dianalisis pada grafik hubungan gaya reaksi dan deformasi berdasarkan luas daerah dibawah kurva masing-masing *crash box*. Luas daerah di bawah kurva menunjukkan usaha yang dilakukan oleh beban pada *crash box*. Usaha dari beban saat dikenakan pada *crash box* diubah menjadi energi regangan. Dengan asumsi bahwa keseluruhan energi kinetik terkonversi menjadi

energi regangan, maka dapat disimpulkan bahwa usaha beban sama dengan energi regangan pada material *crash box*.

Pada Gambar 4.3 terlihat bahwa semakin besar sudut tirus suatu *crash box* maka gaya reaksi puncak yang dialami juga akan semakin besar. Pada *crash box* tanpa ketirusan dinding memiliki gaya reaksi puncak sebesar 122 kN sedangkan pada *crash box* dengan sudut tirus $1,0^\circ$ gaya reaksi puncaknya mencapai 312 kN.

Berdasarkan hasil pengukuran luas daerah dibawah grafik gaya reaksi – deformasi menggunakan *software PDF* diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.3 berikut. Digunakan faktor skala yang merupakan hasil perbandingan dari nilai energi dengan luas grafik dalam gambar *PDF* yaitu sebesar $0,33 \text{ J/mm}^2$.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran luasan grafik gaya-perpindahan

No	t_a (mm)	α ($^\circ$)	Luas daerah di bawah grafik (mm^2)	Penyerapan Energi (Joule)
1	1,6	0,0	14962,23	4987,41
2	1,6	0,2	17120,23	5706,74
3	1,6	0,4	20233,36	6744,45
4	1,6	0,6	24106,35	8035,45
5	1,6	0,8	28263,63	9421,21
6	1,6	1,0	32468,89	10822,96

Luas daerah di bawah grafik semakin luas seiring bertambahnya sudut tirus dinding *crash box* dengan nilai tertinggi pada *crash box* dengan sudut tirus dinding $1,0^\circ$. Dari hasil simulasi yang ditunjukkan oleh Tabel 4.3, *crash box* dengan tebal dinding 1,6 mm tanpa ketirusan dinding memiliki penyerapan energi sebesar 4987,41 J. Dari Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa semakin besar sudut tirus dinding *crash box* maka kemampuan penyerapan energi akan mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan semakin besar sudut tirus dinding *crash box* maka akan membuat kekakuan dari *crash box* tersebut semakin meningkat. *Crash box* yang kaku akan memberikan gaya reaksi yang lebih tinggi sehingga energi regangannya semakin tinggi sesuai persamaan energi regangan:

$$U = \int_0^\delta P(\delta) d\delta$$

Dengan :

U = Energi regangan (J)

P = Gaya (N)

δ = Perpindahan (m)

Semakin besar sudut tirus dinding *crash box* maka akan semakin besar pula inersianya. Dengan semakin besarnya inersia suatu *crash box* akan semakin memperbesar P_{cr} *crash box* pada awal *buckling* sesuai dengan rumus:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}$$

Dengan :

P_{cr} = Beban kritis (N)

E = Modulus Elastisitas (Pa)

I = Momen inersia penampang (m^4)

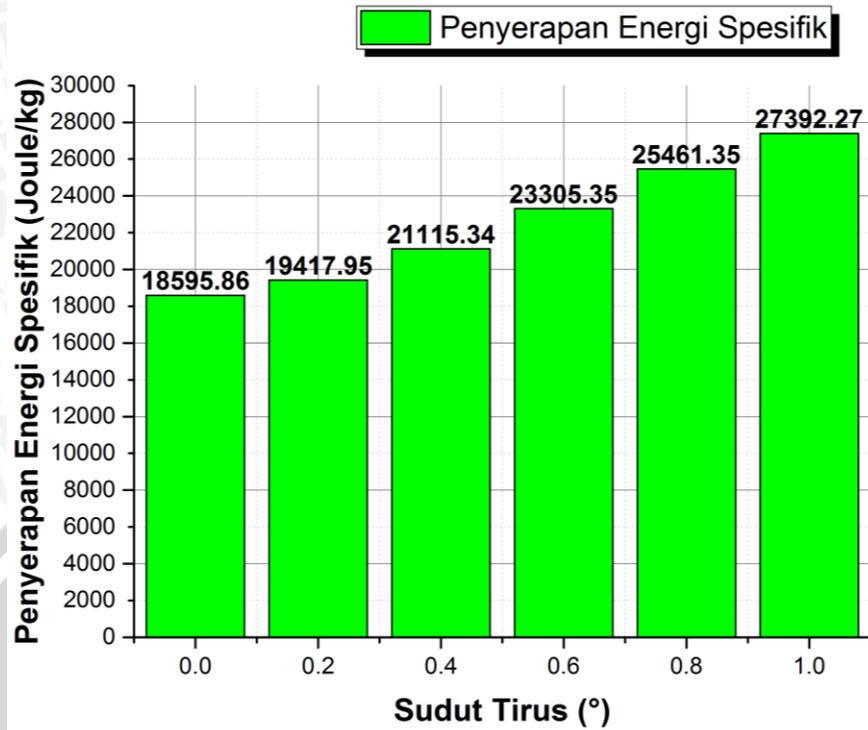
L = Panjang kolom (m)

4.2.3 Penyerapan Energi Spesifik Crash Box

Penyerapan energi spesifik adalah ukuran yang menyatakan energi yang diserap oleh *crash box* per satuan massa. Besaran ini perlu dihitung karena dalam penelitian ini peningkatan sudut tirus dinding akan mempengaruhi massa *crash box*. Penghitungan penyerapan energi spesifik *crash box* dimaksudkan untuk mengetahui tingkat keefektifan sudut tirus dinding *crash box*.

Tabel 4.4 Penyerapan energi spesifik

No	t_a (mm)	α (°)	Penyerapan Energi (Joule)	Massa (kg)	Penyerapan Energi Spesifik (J/kg)
1	1,6	0	4987,41	0,2682	18595,86
2	1,6	0,2	5706,74	0,2939	19417,95
3	1,6	0,4	6744,45	0,3194	21115,34
4	1,6	0,6	8035,45	0,3448	23305,35
5	1,6	0,8	9421,21	0,3700	25461,35
6	1,6	1,0	10822,96	0,3951	27392,27

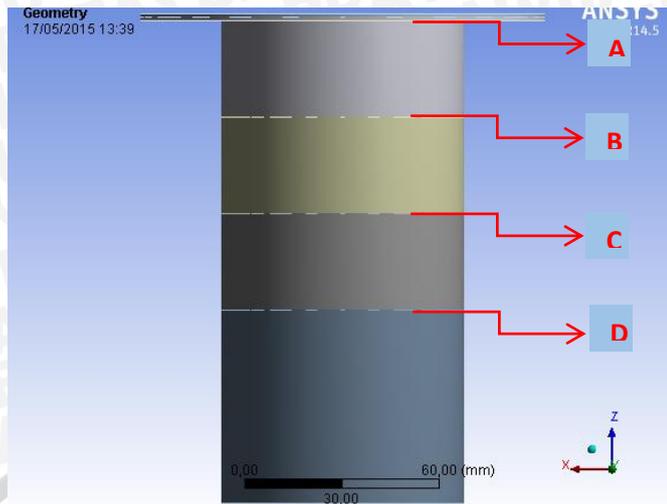


Gambar 4.4 Grafik Hubungan Penyerapan Energi Spesifik terhadap Sudut Tirus

Pada Gambar 4.4 yang menunjukkan grafik hubungan penyerapan energi spesifik terhadap sudut tirus, dapat dilihat bahwa seiring meningkatnya sudut tirus maka penyerapan energi spesifiknya juga akan semakin meningkat disebabkan oleh rentang kenaikan penyerapan energi lebih besar dibandingkan rentang kenaikan massa. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar sudut tirus suatu *crash box* maka akan semakin efektif pula dalam menyerap energi.

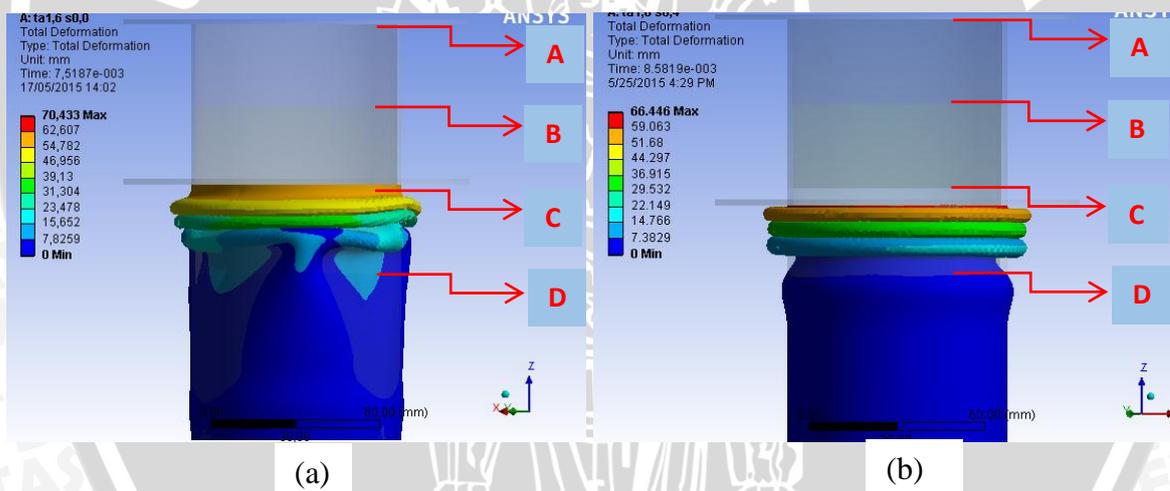
4.2.4 Besar Penyerapan Energi *Crash Box* dari Ketinggian Tertentu

Pada subbab ini dibahas mengenai besar penyerapan energi *crash box* dari ketinggian tertentu. Dimana sebelum simulasi dijalankan, pada model *crash box* diberi letak *surface* analisa pada ketinggian tertentu pada suatu *crash box* untuk mengetahui besarnya gaya reaksi dan deformasi yang terjadinya dimulai pada letak *surface* analisa tersebut. Letak *surface* analisa tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut:



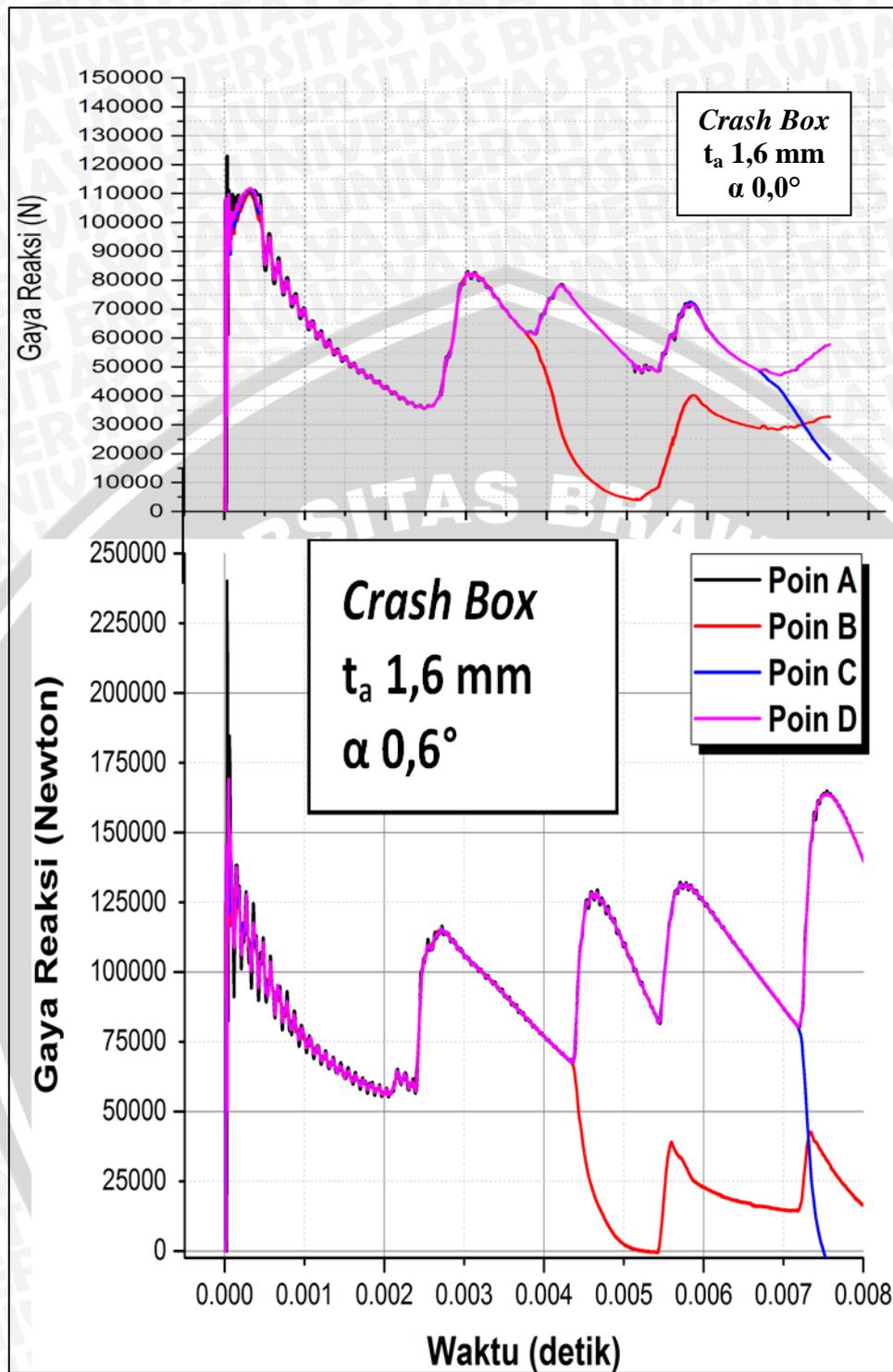
Gambar 4.5 *Surface* Analisa pada Ketinggian Tertentu pada Suatu *Crash Box*
(A: Ujung, B: 30 mm dari A, C: 60 mm dari A, D: 90 mm dari A)

Deformasi yang terjadi dan letak *surface* analisa sebelum deformasi pada *crash box* $t_a 1,6 \alpha 0,0^\circ$ dan *crash box* $t_a 1,6 \alpha 0,6^\circ$ ditunjukkan oleh Gambar 4.6 berikut:

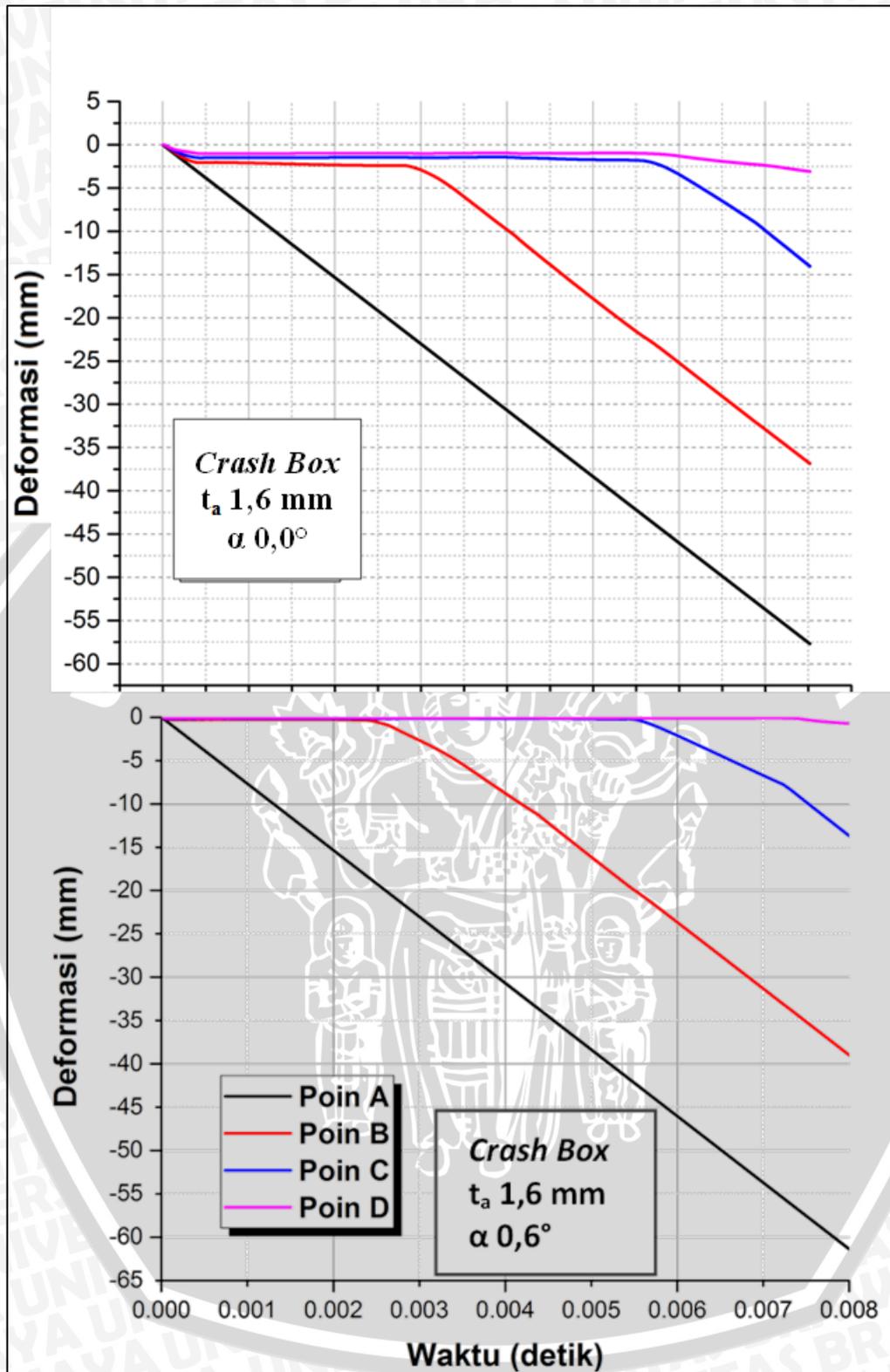


Gambar 4.6 Deformasi yang terjadi dan letak *surface* analisa sebelum deformasi pada *crash box* $t_a 1,6$ dengan sudut tirus (a) $\alpha 0,0^\circ$ (b) $\alpha 0,6^\circ$

Gaya-gaya reaksi dan deformasi yang terjadi pada setiap poin analisa digambarkan oleh grafik pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 berikut:



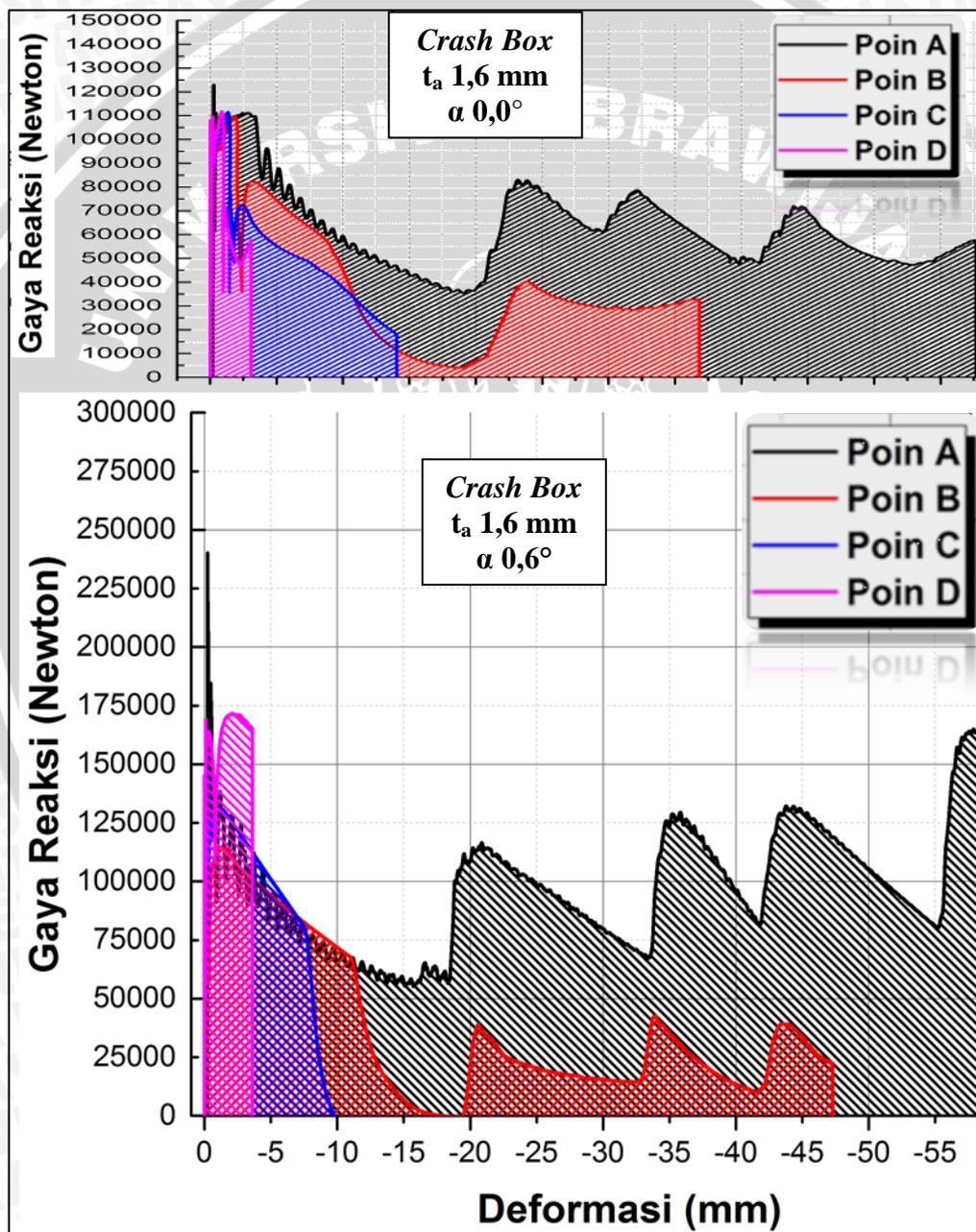
Gambar 4.7 Gaya-gaya reaksi yang terjadi dari setiap *surface* analisa



Gambar 4.8 Deformasi yang terjadi dari setiap *surface* analisa

Penggabungan antara kedua grafik diatas yaitu ketika gaya reaksi diposisikan pada sumbu y dan deformasi diposisikan pada sumbu x maka akan dihasilkan grafik gaya reaksi – deformasi dimana luas daerah dibawah kurva grafik tersebut merupakan

besar energi yang diserap oleh *crash box*. Sehingga dapat diketahui besarnya penyerapan energi suatu *crash box* yang dimulai pada *surface* analisa pada ketinggian tertentu yang telah ditentukan. *Surface* analisa pertama yaitu A yang terletak pada ujung *crash box* yang memiliki kontak langsung dengan *impactor*, B terletak sejauh 30 mm dari A, C terletak sejauh 60 mm dari A, dan D terletak sejauh 90 mm dari A. Grafik gaya reaksi – deformasi yang dimaksud ditunjukkan oleh Gambar 4.8 berikut:



Gambar 4.9 Kurva gaya reaksi – deformasi dari setiap *surface* analisa

Dari Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa penyerapan energi paling besar terjadi pada bagian paling atas *crash box* dan semakin ke bawah bagian *crash box* semakin kecil peranannya dalam menyerap energi. Hal tersebut dikarenakan energi dari *impactor* diserap oleh *crash box* menjadi energi regangan melalui deformasi yang paling banyak terjadi pada *crash box* bagian atas. Rincian energi yang diserap oleh *crash box* dari *surface* analisa A, B, C, dan D disajikan pada Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Penyerapan energi dari setiap *surface* analisa

Surface Analisa	Penyerapan Energi (J)	
	Crash Box	Crash Box
	t_a 1,6 mm α 0,0°	t_a 1,6 mm α 0,6°
A	3587.94	6562,06
B	1395.36	1939.3
C	729.66	907,17
D	219.36	630,13

Pada Gambar 4.7 ditunjukkan bahwa pada waktu mencapai 0,003 dan 0,006 detik terjadi penurunan drastis pada gaya reaksi yang dialami oleh *surface* analisa B dan C pada *crash box* t_a 1,6 mm α 0,0°. Hal yang sama terjadi pada *crash box* t_a 1,6 mm α 0,6° ketika waktu mencapai 0,0025 dan 0,0055 detik. Hal tersebut dikarenakan pada *surface* analisa B dan C pada waktu tersebut mengalami *buckling* yang membuat gaya reaksi yang diterima menjadi berkurang.