

STUDI EKSPERIMENTAL DAN ANALISA RESPON MEKANIK HELMET SEPEDA DARI BAHAN KOMPOSIT BUSA POLIMER DIPERKUAT SERAT TKKS AKIBAT BEBAN IMPAK JATUH BEBAS

Sukardi¹, Bustami Syam², M. Sabri³, Tugiman⁴, Syahrul Abda⁵ Farida Ariani⁶, Alfian Hamsi⁷

^{1,2,3,4,5,6,7}Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara

Email : Sukardimechanical@yahoo.co.id

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan tegangan, regangan dan energi impact yang mampu diserap oleh helmet sepeda dari bahan *polimerik foam* busa komposit. Pengujian impact jatuh bebas dilakukan dengan menggunakan alat uji jatuh bebas multiguna. Helmet yang diuji diletakkan pada tes rig yang dapat diatur ketinggian jatuhnya. Perhitungan waktu impact, maka pada alat uji dilengkapi dengan 8 buah sensor proximity jenis induktif. Helmet akan jatuh dan menabrak dudukan alas uji yang disebut dengan anvil. Gaya yang dihasilkan akan diukur dengan menggunakan alat sensor pengukuran beban yang disebut dengan load cell yang diletakkan di bawah anvil. Data akan dipindahkan dari load cell ke suatu sistem data akusisi yang berfungsi untuk merubah sinyal analog ke bentuk sinyal digital. Data akan disimpan pada PC sebagai gaya (N) dan waktu (t). Hasil uji impact dengan cara eksperimental untuk helmet bahan *polimerik foam* busa komposit diperkuat serat TKKS, uji impact pada sisi samping dengan ketinggian impactor 1 m diperoleh besar gaya rata-rata 275,33 N. Dan Sisi belakang 239,33 N. dan besar tegangan rata-rata yang terjadi pada sisi samping adalah 1,029 Mpa. Pada sisi belakang adalah 0,684 Mpa. Tegangan yang terjadi ini menyebabkan helmet sepeda pecah yang berarti telah mencapai dan melewati titik break point.

Kata Kunci: Impact Jatuh Bebas, Komposit Pp, Metode Cetak Tuang.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan polimer dan komposit dewasa ini semakin meningkat di segala bidang. Komposit berpenguat serat alam banyak diaplikasikan pada alat-alat material yang mempunyai dua perpaduan sifat dasar, yaitu kuat dan ringan. Serat yang berbeda akan menghasilkan kualitas bahan yang berbeda.

Untuk proses pembuatan *helmet* sepeda, desain serta kualitas harus di perhatikan. Karena, *helmet* sepeda harus mampu melindungi kepala pengendara dari benturan (impact). Oleh karena itu, bahan pembuatan *helmet* sepeda haruslah berasal dari bahan berkualitas tinggi. Biasanya *helmet* sepeda yang berkualitas harganya mahal. Hal ini dikarenakan bahan baku dan teknologi yang digunakan untuk membuat *helmet* sepeda juga mahal.

Bahan baku yang biasa digunakan untuk pembuatan *helmet* sepeda adalah *plastic, rubber, fiberglass, polycarbonate, kevlar, maupun serat karbon*. Teknologi pembuatannya menggunakan teknik cetak suntik (*injection molding*) dan *thermoforming*. Bahan dan cara pembuatan diatas membutuhkan biaya yang sangat mahal. Hal inilah yang melatar belakangi peneliti ingin mendesain dan membuat *helmet* sepeda berbahan komposit busa polimer dengan bahan penguat serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan metode cetak tuang.

Pengembangan material ini sebagai material penguat komposit dengan matriks berasal dari material-material polimer baru masih jarang ditemukan. Penulis tertarik untuk meneliti respon material komposit yang berpenguat serat TKKS apabila dibuat dalam bentuk *helmet* sepeda.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Komposit adalah penggabungan dari bahan yang dipilih berdasarkan kombinasi sifat fisik masing-masing material penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang baru dan unik di bandingkan sifat material dasar, sebelum dicampur dan terjadi ikatan permukaan antara masing-masing material penyusunnya. Material komposit terdiri dari dua bagian utama yaitu matriks, dan penguat (*reinforcement*). Pada desain struktur dilakukan pemilihan matriks dan penguat, hal ini

dilakukan untuk memastikan kemampuan material sesuai dengan produk yang akan dihasilkan gabungan makroskopis fasa-fasa pembentuk komposit. [1]

2.1. Polyester Resin BQTN 157-EX

Polyester resin BQTN 157-EX merupakan material polimer *kondensat* yang dibentuk berdasarkan reaksi antara kelompok *polyol*, yang merupakan organik gabungan dengan alkohol *multiple* atau gugus fungsi hidroksi, dan *polycarboxylic* yang mengandung ikatan ganda. adapun jenis polyester resin yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar.1.



Gambar 1. Polyester Resin BTN 157-EX

2.2. Blowing Agent

Blowing agent adalah agen busa untuk menciptakan gelembung udara dalam struktur komposit jenis *blowing agent* yang digunakan pada penelitian ini ialah:

1. Asam Asetat dan,

Untuk mempermudah proses terjadinya reaksi pada matrial komposit busa polymer yang diperkuat setarTKKS yang akan digunakan untuk proses pembuatan helmet sepeda.

2. Natrium Bicarbonat

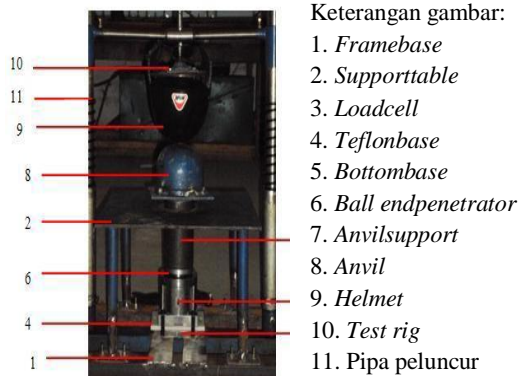
Natrium bicarbonat digunakan sebagai pengembang pada matrial komposit busa polymer yang diperkuat serat TKKS yang akan digunakan untuk proses pembuatan helmet sepeda.

2.3. Katalis MEKP (*Methyl Ethyl Keton Peroksida*)

Katalis adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi-reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Katalis berperan dalam reaksi tapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk. Adapun fungsi katalis didalam penelitian ini adalah untuk mempercepat reaksi pada matrial komposit busa polymer yang akan digunakan untuk proses pembuatan helmet sepeda. [2]

2.4. Uji Impak Jatuh Bebas

Pengujian standard ini bertujuan untuk melihat sejauh mana kemampuan *helmet* dalam menyerap energi impact (*impact energy test*), Selain itu uji standar juga bertujuan meneliti kepatahan rusak *helmet* (*penetration test*) yang memungkinkan merusak lapisan cangkang *helmet* seperti yang terlihat pada gambar 2. [3]



Keterangan gambar:

1. Framebase
2. Supporttable
3. Loadcell
4. Teflonbase
5. Bottombase
6. Ball endpenetrator
7. Anvil support
8. Anvil
9. Helmet
10. Test rig
11. Pipa peluncur

Gambar 2. Alat uji impact jatuh bebas

2.4.1. Gerak Jatuh Bebas

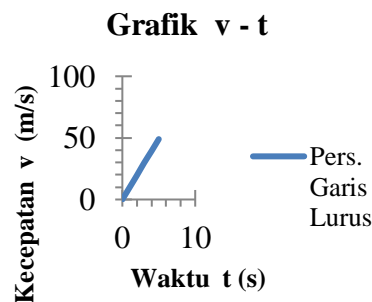
Benda jatuh tanpa kecepatan awal ($v_0 = 0$). Semakin ke bawah gerak benda semakin cepat. Percepatan yang dialami oleh setiap benda jatuh bebas selalu sama, yakni sama dengan percepatan gravitasi bumi ($a = g$) (besar $g = 9,8 \text{ ms}^{-2}$ dan sering dibulatkan menjadi 10 ms^{-2}). Menurut Khurmi R.S, untuk menentukan kecepatan benda jatuh bebas setiap detik akan diperoleh pendekatan seperti yang terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Waktu dan kecepatan benda jatuh

Waktu t (s)	0	1	2	3	4	5
Kecepatan v (m/s)	0	9,8	19,6	29,4	39,2	49

Dari data Tabel 1. dapat di gambarkan sebuah grafik hubungan antara kecepatan dan waktu yang juga merupakan sebuah persamaan garis lurus seperti pada Gambar 3. Jadi percepatan seragam dapat diperoleh dengan persamaan (1).

$$v = \frac{v - v_0}{t} = \frac{49 - 0}{5} = 9,8 \left(\frac{m}{s} \right) \dots \dots \dots (1)$$

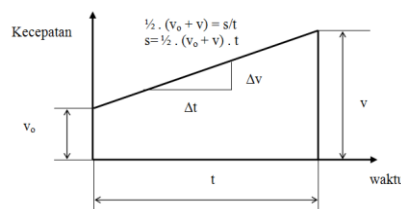


Gambar 3. Grafik hubungan $v - t$

2.4.2. Gerak Lurus

Perpindahan adalah sebuah perubahan kedudukan ini merupakan besaran vektor yang memiliki jarak dan arah. Percepatan dapat didefinisikan sebagai laju perubahan kedudukan terhadap waktu. Ini juga merupakan besaran vektor yang memiliki jarak, arah, dan waktu. Persamaan gerak lurus percepatan seragam dapat dijelaskan pada gambar.4.

$$s = v \cdot t \dots \dots \dots (2)$$



Gambar 4. Diagram kecepatan – waktu

Perpindahan digambarkan dengan luas daerah dibawah grafik kecepatan – waktu.

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = a ; v = v_0 + \frac{\Delta v}{\Delta t} ; v = v_0 + at \dots \dots \dots (3)$$

Dengan mensubstitusikan $(v_0 + at)$ kedalam persamaan $s = \frac{1}{2}(v_0 + v).t$ maka diperoleh jarak perpindahan sebesar $s = (v_0.t + \frac{1}{2}.at^2)$. Dengan mensubstitusikan waktu $t = \frac{v - v_0}{a}$ kedalam persamaan $s = \frac{1}{2}(v_0 + v).t$, diperoleh rumus kecepatan $v^2 = v_0^2 + 2as$. Jika $v_0 = 0$, maka $v^2 = 2.as$, sehingga persamaan menjadi:

$$V = \sqrt{2as} \dots\dots\dots (4)$$

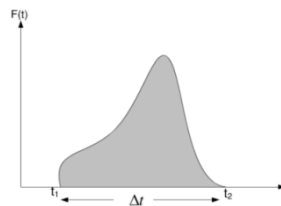
Untuk kasus jatuh bebas maka $a = g$ dan $s = h$, sehingga besarnya kecepatan diperoleh dengan persamaan (5).

$$V = \sqrt{2g.h} \dots\dots\dots (5)$$

2.4.3. Momentum dan Impuls

Sebuah benda bergerak dikatakan mempunyai momentum yang dinyatakan dengan hasil kali massa dengan kecepatan benda tersebut. Hal ini dapat dinyatakan dengan persamaan (6).

$$M = m.v \dots\dots\dots (6)$$



Gambar 5. Hubungan Momentum dan Impuls

Impuls sebuah gaya konstan adalah hasil kali gaya dengan selang waktu yang diperlukan, ini dapat dinyatakan dalam persamaan (7).

$$I = F.t \dots\dots\dots (7)$$

2.4.4. Gaya dan Energi Impak

Gaya impak dapat diperoleh dengan mensubstitusi persamaan (6) dengan persamaan (7), sehingga besar nilai gaya dapat dinyatakan dengan persamaan (8).

$$F = \frac{m.v}{t} \dots\dots\dots (8)$$

Energi didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan usaha/kerja. Hukum kekekalan energi menjelaskan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan. Salah satu bentuk energi mekanik adalah energi kinetik dan energi potensial. Nilai energi kinetik dapat dihitung dari pergerakan awal benda dari kecepatan awal (v_0) ke kecepatan perubahan benda (v_1), yang ditentukan dengan persamaan (9).

$$E_k = \frac{1}{2}m.v^2 \dots\dots\dots (9)$$

Energi potensial (E_p) adalah energi yang dimiliki oleh benda berdasarkan kedudukan (ketinggian). Besarnya energi potensial dapat dihitung dengan persamaan (10).

$$E_p = m.g.H \dots\dots\dots (10)$$

2.4.5. Tegangan

Apabila sebuah batang atau plat dibebani sebuah gaya maka akan terjadi gaya reaksi yang sama dengan yang arah berlawanan. Maka, rumus tegangan seperti terlihat pada persamaan (11).

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots \dots \dots (11)$$

2.4.6. Regangan

Regangan adalah suatu bentuk tanpa dimensi untuk menyatakan perubahan bentuk. maka rumus regangan dapat dilihat pada persamaan (12). [4]

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_1 - L_0}{L} \dots \dots \dots (12)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1. Alat

Adapun peralatan yang digunakan didalam penelitian ini adalah:

1. Cetakan Helmet
Untuk pembuatan Spesimen helmet sebagai spesimen Uji Impak jatuh bebas.
2. Mixer
Untuk mengaduk bahan-bahan yang sudah dicampur sebelumnya ke dalam wadah pengaduk.
3. Wadah Pengaduk
Sebagai wadah pengaduk bahan-bahan yang sudah ditimbang sebelumnya.
4. Alat Uji Impak Jatuh Bebas
Untuk instrumen pengujian impak jatuh bebas.
5. Personal Computer
Mengolah data dan melakukan simulasi.

3.2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan didalam penelitian ini adalah:

1. Polyester resin tak jenuh tipe BQTN 157-EX
Polyester resin tak jenuh yang digunakan adalah tipe BQTN 157-EX sebagai matrik pada material komposit yang diperkuat serat TKKS.
2. Serat TKKS
Serat TKKS yang digunakan, sebelumnya di-treatment dengan NaOH untuk menghilangkan lemak, lalu kemudian digiling dengan mesin penggiling adapun fungsi serat TKKS didalam penelitian ini adalah sebagai Penguat pada material komposit busa polimer.
3. Blowing Agent
Blowing agent adalah agen busa untuk menciptakan gelembung udara dalam struktur komposit jenis *blowing agent* yang digunakan pada penelitian ini ialah:
 1. Baking Soda
 2. Asam Asetat

3.3. Metode Pembuatan Spesimen

Spesimen uji divariasikan ke dalam tiga komposisi seperti diperlihatkan pada tabel 2. [5]

Tabel 2. Komposisi spesimen

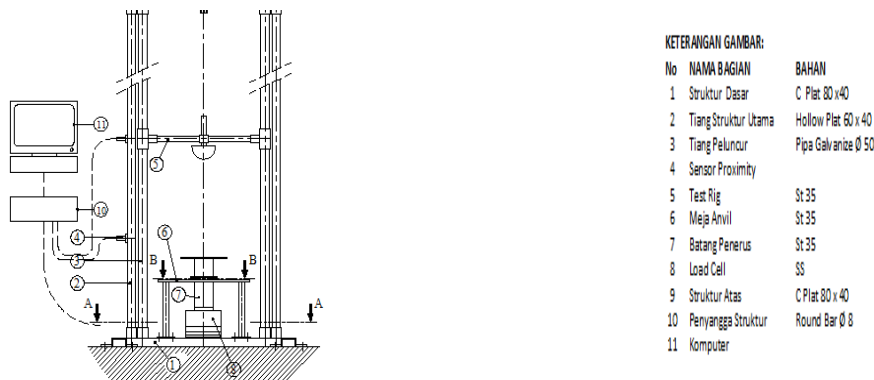
Spesimen	Resin (wt%)	Serat TKKS (wt%)	Sodium bicarbonate (wt%)
A	80	5	15
B	77.5	7.5	15

C	75	10	15
---	----	----	----

Spesimen uji tekan dan brazilian dibentuk berdasarkan standar ASTM D 1621-00. Pengujian dilakukan menggunakan alat uji Shimadzu Servopulser SC-2DE. Untuk menghitung densitas, material dibentuk menjadi bentuk kubus dengan dimensi 15x15x15 mm. Perhitungan densitas dilakukan menggunakan metode ASTM D 1622. Semua proses pembuatan dan pengujian spesimen pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Impact and Fracture Research Center USU, Medan.

3.4. Alat Uji Impak Jatuh Bebas

Pada penelitian ini digunakan beberapa peralatan yaitu alat uji impak jatuh bebas, dan alat pengukur energi dan gaya impak (Load cell). Gambar 6. menunjukkan perangkat alat uji impak jatuh bebas.



Gambar 6. Perangkat Alat Uji Impak Jatuh Bebas

Alat pengukur energi dan gaya impak benda jatuh bebas (Load cell) adalah sebuah sensor gaya yang bekerja menggunakan *strain gage full bridge* dengan tahanan SG 350Ω alat yang dapat merekam beban impak. Kemampuan alat ini dapat menerima beban dan mengukur gaya impak hingga 30.000 kg, dan untuk penggunaan alat ini sudah mendapatkan sertifikat kalibrasi dari Komite Akreditasi Nasional untuk 20.000 kg.

3.4.1. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian pada penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Hubungkan semua koneksi: *loadcell*, sensor posisi, kabel USB dan *power* DAQ Labjack U3-LV.
- Aktifkan software *DAQ For Impact Testing* dari icon yang ada di *desktop*.
- Persiapkan peralatan uji impak jatuh bebas dan pastikan bahwa *load cell* dan dudukan *load cell* sudah terpasang dengan baik begitu juga dengan *anvil support*.
- Masukkan *anvil* pada *anvil support* sesuai dengan jenis yang kita inginkan berdasarkan kebutuhan pengujian pengambilan data.
- Pasangkan spesimen *helmet* sepeda yang akan diuji di atas *anvil*.
- Pasangkan *Test rig* pada dudukan lengan *test rig*. Tentukan posisi jarak ketinggian jatuh *test rig* yang ingin diuji 1m dan pastikan *sensor proximity* berfungsi aktif.
- Tekan **Buton START** pada software *DAQ For Impact Testing*
- Setelah menentukan jarak ketinggian dan memastikan bahwa *sensor proximity* sudah berfungsi, maka *test rig* akan kita jatuhkan dengan melepas tali penahan luncuran *test rig*.
- Tekan **Buton STOP** setelah beberapa saat *test rig* menumbuk spesimen *helmet* sepeda yang berada diatas *anvil*.
- Tekan **Buton SAVE** untuk menyimpan data hasil uji ke dalam *file* berformat txt dan akan tersimpan dalam *Drive C Folder DATA EXP* (data experiment).
- Lalu data hasil pengujian tersebut kita olah dengan menggunakan program software *MS-Excel*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian *helmet* sepeda bahan *polymeric foam* diperkuat serat TKKS dengan menggunakan impak jatuh bebas. *Helmet* sepeda yang dijadikan objek penelitian mempunyai dimensi panjang 265 mm, lebar 215 mm, dan tinggi 162 mm dengan lingkaran kepala 540 s.d 580 mm. Sedangkan *massa* dari *helmet* sepeda berkisar antara 660 s/d 720 gr.

Pengujian impak jatuh bebas ini digolongkan pada pengujian impak kecepatan rendah. Alat uji impak jatuh bebas menggunakan sensor cahaya yang diletakkan dengan ketinggian 1 m didalam pengujian ini ketinggian *helmet* di uji adalah 1 m seperti terlihat pada gambar 7.



Gambar 7. Posisi anvil, helmet sepeda dan test rig

1. Hasil Pengujian Impak Jatuh Bebas

Pada penelitian ini *helmet* sepeda berbahan *polymeric foam* diperkuat serat TKKS akibat beban impak jatuh bebas dilakukan dengan pengujian pada material *polymeric foam*, pada penelitian ini pengujian yang dilakukan pada dua titik yaitu Samping dan belakang yang sering dialami saat pengendara sepeda terjatuh seperti terlihat pada gambar 8.



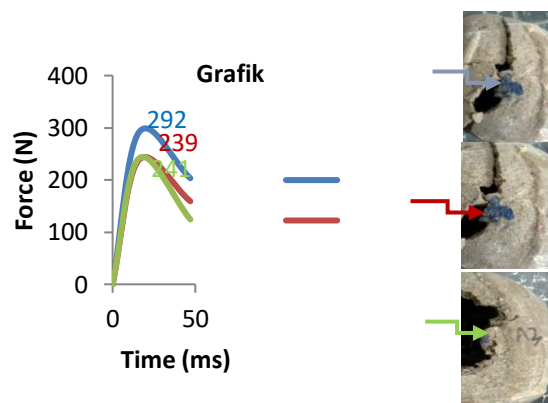
(a)

(b)

Gambar 8. (a) Sisi Samping, (b) Sisi Belakang

1. Hasil Uji Impak Pada Sisi Samping Helmet

Grafik hasil uji impak pada sisi samping dengan ketinggian 1 meter memperlihatkan bahwa besar gaya adalah berbeda, namun waktu impak dan rambatan gelombang yang teredam adalah sama, seperti diperlihatkan gambar 9.



Gambar 9. Grafik gabungan gaya impak vs waktu impak ketinggian 1 meter.

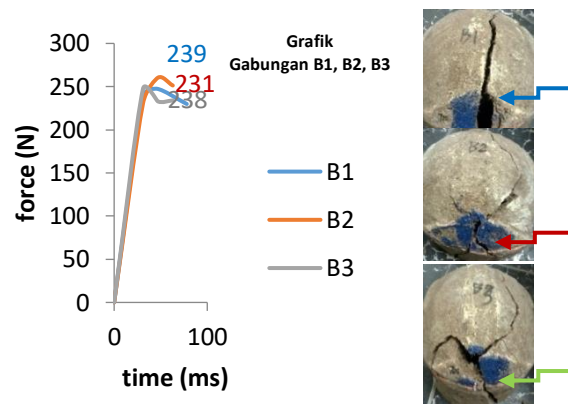
Tabel: 3 Hasil pengujian impak jatuh bebas pada sisi samping *helmet* sepeda dengan ketinggian 1 m.

3. Hasil Uji Impak Pada sisi Belakang Helmet

No. Sample	Luas area dampak A (mm ²)	Gaya Pengujian F (N)	Tegangan yang terjadi σ (MPa)	Keterangan
1	250	292	1,168	Pecah
2	250	239	0,956	Pecah
3	250	241	0,964	Pecah
Rata-rata	250	257,33	1,029	

No. Sample	Tinggi h (m)	Massa helmet + test rig (kg)	Energi Impak Ei = m.g.h (Joule)	Energi Impak Eksperimental Et = F.h (Joule)	Energi yang diserap Es=Ei-Et (Joule)
1	1	5,47	53,66	292	238,34
2	1	5,47	53,66	239	185,34
3	1	5,47	53,66	241	187,34
Rata-rata	1	5,47	53,66	257,33	203,67

Grafik hasil uji impact pada sisi belakang dengan ketinggian 1 meter memperlihatkan bahwa besar gaya adalah berbeda, namun waktu impact dan rambatan gelombang yang teredam adalah sama, seperti diperlihatkan gambar 10.



Gambar 10. Grafik gabungan gaya vs waktu impact ketinggian 1 meter.

Tabel 4. Hasil pengujian titik belakang helmet sepeda dengan impact jatuh bebas pada ketinggian 1 m

No. Sample	Luas area dampak A (mm ²)	Gaya Pengujian F (N)	Tegangan yang terjadi σ (MPa)	Keterangan
1	350	239	0,683	Pecah
2	350	231	0,682	Pecah
3	350	248	0,688	Pecah
Rata-rata	350	239,33	0,684	

No. Sample	Tinggi h (meter)	Massa helmet + test rig (kg)	Energi Impak Ei = m.g.h (Joule)	Energi Impak Eksperimental Et = F.h (Joule)	Energi yang diserap Es=Et-Ei (Joule)
1	1	5,581	54,74	239	184,26
2	1	5,581	54,74	231	176,26
3	1	5,581	54,74	248	193,26
Rata-rata	1	5,581	54,74	239,33	184,59

3.5. Diskusi

Berdasarkan dari hasil pengujian pada spesimen helmet sepeda bahan polymerik foam yang diperkuat serat TKKS pada sampel A1,A2 dan A3 besar gaya yang didapat adalah berbeda ini dikarenakan berat dan masa helmet berbeda antara spesimen A1,A2 dan A3 begitu juga dengan Spesimen B1,B2 dan B3. Besarnya energi impact yang mampu diserap helmet pada sisi samping helmet 203,67 Joule sedangkan pada sisi belakang helmet energi yang mampu diserap helmet adalah 184,59 Joule, besarnya energi impact pada sisi samping disebabkan karena luas area impact pada sisi samping helmet lebih kecil dibandingkan luas area impact pada sisi belang helmet. Semakin kecil luas area impact maka energi yang diserap akan semakin besar.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapat kesimpulan dari hasil penelitian ini, yaitu:

1. Hasil analisa terhadap uji impact beban jatuh bebas pada *helmet* diketahui bahwa besar energi impact rata-rata yang mampu diserap *helmet* akibat beban pada sisi samping adalah 203,67 Joule, sedangkan energi impact rata-rata yang mampu diserap *helmet* akibat pembebanan pada sisi belakang adalah 184,59 Joule, besarnya energi impact terdapat pada sisi samping *helmet* sepadan dikarenakan luas area impact pada sisi samping lebih kecil daripada sisi belakang *helmet*.
2. Berdasarkan hasil perhitungan besar tegangan impact pada sisi samping sebesar 1,029 Mpa dan sisi belakang sebesar 0,684 Mpa, perbedaan besarnya tegangan tersebut dikarenakan luas area impact pada sisi samping *helmet* lebih kecil dari luas area impact sisi belakang *helmet*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chawla, K.K.(1987). *Composite materials, First Ed. Berlin*. New York: Springer-VerlagInc.
- [2] Rahmad, K,S. 2011. Pengukuran Helmet Sepeda Motor yang Dikenai Beban Impact Jatuh Menggunakan Metode Jatuh Bebas, Tesis Master, USU
- [3] Darnoko, P. Guritno, A. Sugiharto, Sugesty. 1995. Pembuatan Pulp dari Tandan Kosong Sawit dengan Penambahan Surfaktan. Jurnal Penelitian Kelapa Sawit 3(1): 75-87
- [4] <http://worldwidescience.org/topicpages/m/material+karakterisasi+sifat.html>. Diakses tgl 02-01-2014 jam 14.20. WIB.
- [5] Zulfikar. Pembuatan dan Penyelidikan Perilaku Mekanik Material Polymeric Foam Diperkuat Serat TKKS Akibat Beban Statik dan Impact. Program Magister Teknik Mesin USU. 2010.