

STUDI EKSPERIMENTAL STRUKTUR HELMET PENGENDARA SEPEDA AKIBAT BEBAN IMPAK JATUH BEBAS PADA BAHAN POLIMER BUSA KOMPOSIT DIPERKUAT SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

Holdani¹, Bustami Syam², Syahrul Abda³, M. Sabri⁴, Ikhwanasyah Isranuri⁵, Indra, Alfian Hamsi⁶

Email:holdani_siregar@yahoo.com

^{1,2,3,4,5,6} Departemen Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 Medan Indonesia

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan tegangan, regangan dan energi potensial yang mampu diserap oleh *helmet* sepeda dari bahan polimer busa komposit dan *helmet* komersial yang kemudian dibandingkan dengan hasil uji. Pengujian impak jatuh bebas dilakukan dengan menggunakan alat uji jatuh bebas multiguna. *Helmet* yang diuji diletakkan pada tes rig yang dapat diatur ketinggian jatuhnya. Perhitungan waktu impak, maka pada alat uji dilengkapi dengan 8 buah sensor *proximity* jenis induktif. *Helmet* akan jatuh dan menabrak dudukan alas uji yang disebut dengan istilah *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. Akhirnya data akan disimpan dalam PC sebagai gaya (N) dan waktu (ms). Hasil pengujian dengan cara eksperimental untuk *helmet* bahan polimer busa komposit diperkuat serat TKKS pada ketinggian impaktor 1,5 m diperoleh besar gaya rata-rata 42,64 kgf yang berarti sama dengan 418,29 N dan besar tegangan rata-rata yang terjadi adalah 3,58 Mpa. Tegangan yang terjadi ini menyebabkan *helmet* sepeda pecah yang berarti telah mencapai dan melewati titik *break point*. Sedangkan untuk *helmet* komersial pada ketinggian 1,5 m diperoleh besar gaya rata-rata 45,04 kgf yang berarti sama dengan 441,84 N dan besar tegangan rata-rata yang terjadi adalah 3,78 Mpa.

Kata Kunci: *helmet sepeda, alat uji jatuh bebas, polimer busa komposit, tegangan impak.*

1. PENDAHULUAN

Kemunculan *helmet* telah lahir sejak zaman Yunani kuno. Pada zaman ini *helmet* merupakan bagian dari teknologi perang yaitu sebagai pelengkap dari baju zirah/baju besi. Melihat perannya yang cukup penting untuk melindungi kepala penggunanya dari ancaman senjata-senjata musuh maka *helmet* terus berkembang luas.[1]

Sejalan dengan berkembangnya waktu dan teknologi manusia, *helmet* telah berevolusi. Dari sisi aktivitas *helmet* tidak lagi hanya dibutuhkan untuk perang, tapi juga dikenakan untuk aktivitas-aktivitas sipil seperti olahraga, pertambangan, berkendara atau kegiatan beresiko lainnya. Dari sisi bahan, bentuk, teknologi dan model *helmet* juga terus berubah. Salah satu *helmet* yang terus mengalami perubahan baik perubahan model dan bahan adalah *helmet* sepeda.[1]

Secara garis besar model *helmet* sepeda terbagi dua yaitu model *half face* dan model *full face*. Model *half face* digunakan untuk pengguna sepeda yang tidak memiliki rintangan yang berat seperti sepeda santai. Sedangkan untuk *helmet* sepeda *full face* digunakan pada olah raga balap sepeda yang ekstrim contohnya balap sepeda gunung.[1]

Adapun tujuan penggunaan *helmet* bagi pengendara sepeda adalah melindungi bagian-bagian yang vital dari tubuh manusia, adapun bagian yang vital itu adalah kepala. Karena pada bagian kepala terdapat susunan saraf yang mengatur aktivitas manusia dan menjadi pusat berfikir. Untuk melindungi kepala dari cedera yang fatal *helmet* sepeda harus dibuat dari material yang kuat dan memenuhi standarisasi.[1]

2. TINJAUAN PUSTAKA

Helmet adalah alat perlindungan tubuh yang dikenakan di kepala terbuat dari metal atau bahan keras lainnya seperti kevlar, plastik dan resin bercampur serat. *Helmet* biasanya digunakan untuk berbagai aktivitas seperti pertempuran (militer), aktivitas olahraga, pertambangan, perbengkelan atau berkendara (sipil). *Helmet* memberi perlindungan pada bagian kepala dari benda jatuh atau benturan berkecepatan tinggi. Di beberapa negara *helmet* wajib digunakan bagi pengendara sepeda motor seperti Amerika, Inggris dan termasuk juga Indonesia bahkan ada yang mewajibkannya bagi pengendara sepeda.[2]

Helmet sepeda adalah *helmet* yang dipakai pengendara sepeda untuk melindungi kepala ketika terjatuh dan meminimalkan cedera seperti gangguan penglihatan tepi karena benturan. Walaupun bagian samping *helmet* pengendara sepeda berbenturan dengan jalan ketika terjatuh, namun kepala pengendara tersebut tidak cedera. Hal ini dikarenakan pengendara sepeda menggunakan *helmet* sepeda sebagai alat perlindungan dirinya. Mekanisme perlindungan *helmet* sepeda adalah penyerapan energimomentum yang diterima ke seluruhbagian *helmet* tersebut.[2]

Tabel 2.1. Perbedaan antara *helmet full face* dengan *half face*

Aspek Pertimbangan	Full face	Half face
Keamanan	Lebih aman	Aman
Ventilasi	Sedikit	Banyak
Visibilitas	Memandang satu arah ke depan	dapat melihat bagian samping
Massa	Ringan	Lebih ringan
Kenyamanan	Nyaman	Lebih nyaman

Berikut adalah bentuk *helmet* sepeda jenis *half face* model tomcat



Gambar 2.1. *Helmet* sepeda jenis *half face* model tomcat

Struktur *helmet* sepeda :

1. Lapisan luar yang keras (*hard outer shell*)

Lapisan luar yang keras berfungsi untuk dapat pecah jika mengalami benturan dan mengurangi dampak tekanan sebelum sampai ke kepala. Lapisan ini biasanya terbuat dari bahan termoplastik.

2. Lapisan dalam yang tebal (*inside shell or liner*)

Lapisan dalam yang tebal berfungsi sebagai penyerap energi impak (*absorber*). Ketika terjadi tabrakan *helmet* sepeda berbenturan dengan benda keras, lapisan keras luar dan lapisan dalam *helmet*

sepeda menyebarkan tekanan ke seluruh materi *helmet* sepeda. Benturan yang kuat mengakibatkan pecahnya *helmet* sepeda dan membuat lapisan dalam rusak.

Proses pecahnya lapisan keras luar *helmet* sepeda dan lapisan dalam rusak membutuhkan selang waktu, terjadi reduksi energi sehingga energi momentum menjadi teredam. Bahan lapisan dalam dibuat dari bahan *polystyrene (styrofoam)*.

3. Lapisan dalam yang lunak (*comfort padding*)

Merupakan bagian dalam yang terdiri dari bahan lunak dan kain untuk menempatkan kepala secara pas dan tepat pada rongga *helmet*.

4. Tali Pengikat

Bagian penting lainnya dalam *helmet* sepeda adalah tali pengikat. *Helmet* sepeda tidak akan berfungsi dengan baik kalau tidak dilengkapi dengan tali pengikatnya.[2]

Bahan Komposit

a. Komposit *polymeric foam*

Bahan komposit terdiri dari dua bagian utama di antaranya: (1) matrik dan (2) penguat (*reinforcement*). Bahan komposit terbentuk oleh dua jenis fasa, yaitu fasa matrik dan fasa penguat. Fasa matrik adalah bahan fasa kontiniu yang selalu tidak kaku dan lemah, sedangkan fasa penguat selalu lebih kaku dan kuat, akan tetapi fasa penguat ini lebih rapuh.

b. *Polyester* resin tak jenuh

Polyester resin tak jenuh adalah jenis polimer termoset yang memiliki struktur rantai karbon yang panjang. Matrik yang berjenis ini memiliki sifat dapat mengeras pada suhu kamar dengan penambahan katalis tanpa pemberian tekanan ketika proses pembentukan.

c. Blowing agent

Blowing agent adalah bahan yang digunakan untuk menghasilkan struktur berongga pada komposit yang dibentuk. Jenis *blowing agent* yang digunakan adalah *polyurethane* yang merupakan reaksi antara *polyol* dan *isocyanate*.

d. Katalis MEKP

Katalis merupakan bahan kimia yang digunakan untuk mempercepat proses reaksi polimerisasi struktur komposit pada kondisi suhu kamar dan tekanan atmosfer. Pemberian katalis dapat berfungsi untuk mengatur waktu pembentukan gelembung blowing agent, sehingga tidak mengembang secara berlebihan, atau terlalu cepat mengeras yang dapat mengakibatkan terhambatnya pembentukan gelembung. Jenis katalis yang digunakan adalah jenis *Methyl Ethyl Keton Peroksida* (MEKPO).[3]

e. Serat TKKS

Untuk penguat komposit digunakan serat TKKS yang akan dicampurkan kedalam matrik. Tiap kandungan serat TKKS secara fisik mengandung bahan-bahan serat seperti lignin (16,19 %), selulosa (44,14%) dan hemi selulosa (19,28%) yang mirip dengan bahan kimia penyusun kayu. Penelitian yang dilakukan oleh sebuah institusi komersial terhadap komposisi bahan kimianya diketahui bahwa kandungan serat TKKS merupakan kandungan terbesar yang mampu memberikan sifat mekanik yang cukup baik terhadap bahan komposit yang akan dibentuk.[3]

Pengujian Kekuatan *Helmet* Sepeda

a. Pengujian impak jatuh bebas

Pengujian impak jatuh bebas adalah pengujian dimana benda jatuh bebas dari keadaan mula-mula diam kemudian bergerak dan mengalami pertambahan kecepatan selama benda tersebut jatuh. Jika benda jatuh ke bumi dari ketinggian tertentu relatif kecil dibandingkan jari-jari bumi, maka benda mengalami pertambahan kecepatan ke bawah dengan harga yang sama setiap detik. Hal ini berarti bahwa percepatan benda berkurang dengan harga yang sama jika sebuah benda ditembakkan ke atas kecepatannya berkurang dengan harga yang sama setiap detik dan perlambatan ke atasnya konstan.[3]

Untuk menentukan kecepatan benda jatuh setiap detik akan diperoleh dengan pendekatan sebagaimana terlihat pada tabel 2.2.

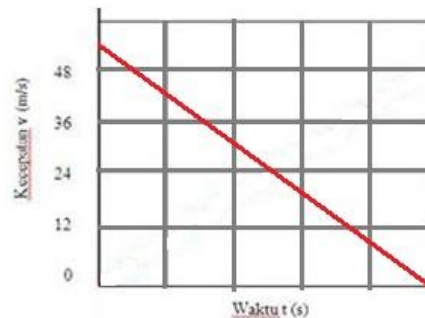
Tabel 2.2. Waktu dan Kecepatan Benda Jatuh

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

Grafik v-t yang sesuai dengan tabel 2.2 ditunjukkan pada gambar 2.2 merupakan sebuah garis lurus sehingga percepatan seragam. Jika tahanan udara diabaikan gerakan benda jatuh bebas dapat dihitung dengan percepatan konstan membentuk garis lurus, bila percepatan benda jatuh bebas sama dengan percepatan gravitasi (g) yaitu:

1. Untuk gerakan ke bawah $a = +g$
2. Untuk gerakan ke atas $a = -g$

percepatan gravitasi (g) dapat dipandang sebagai sebuah vektor dengan arah lurus ke bawah menuju ke pusat bumi.



Gambar 2.2. Grafik hubungan v vs t

Definisi perpindahan adalah perubahan posisi, hal ini merupakan besaran vektor mencakup jarak dan arah. Kecepatan adalah laju perubahan kedudukan terhadap waktu. Hal ini juga merupakan besaran vektor mencakup jarak, arah dan waktu. Kecepatan konstan memiliki partikel yang bergerak dengan kecepatan konstan pada lintasan lurus atau dimiliki partikel yang melintasi perpindahan yang sama dalam selang waktu yang sama secara berturut-turut tanpa peduli berapa selisih selang waktu tersebut. Sedangkan percepatan seragam dimiliki partikel yang mengalami perubahan kecepatan yang sama dalam selang waktu yang sama secara berturut-turut tanpa peduli berapa selisih selang waktu tersebut.[4]

$$\frac{1}{2} (v_0 + v) = \frac{s}{t}$$

$$s = \frac{1}{2} (v_0 + v) t$$

Dimana v_0 adalah kecepatan awal, v kecepatan akhir, t waktu dan s jarak. Persamaan berikut adalah perbandingan antara perubahan kecepatan dan perubahan waktu.

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = a$$

$$v = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$v = v_0 + \frac{\Delta v}{\Delta t} t$$

$$v^2 = v_0^2 + 2as$$

b. Momentum dan impuls

Momentum sebuah benda bergerak dikatakan mempunyai momentum yang dinyatakan dengan hasil kali massa benda dengan kecepatan benda.[5]

Momentum = massa x kecepatan.

$$M = m v \quad (\text{kg} \cdot \text{m/s})$$

Impuls sebuah benda bergerak dikatakan mempunyai impuls yang dinyatakan dengan hasil kali gaya yang bekerja pada benda dengan waktu yang diberikan.

$$I = F t \quad (\text{N s})$$

c. Hukum gerakan Newton

Hukum gerakan pertama: "Jika resultan gaya yang bekerja pada benda sama dengan nol, maka benda yang mula - mula diam akan tetap diam dan benda yang mula - mula bergerak akan tetap bergerak lurus beraturan".

$$\text{Jika } \Sigma F = 0$$

$$\text{maka } v = 0 \text{ atau } v = \text{konstan}$$

Hukum gerakan kedua: "Percepatan yang ditimbulkan oleh gaya yang bekerja pada benda berbanding lurus dengan besar gayanya dan berbanding terbalik dengan massa benda".[4]

$$a = \frac{\Sigma F}{m}$$

Atau

$$\Sigma F = m a$$

Hukum gerakan ketiga: "Jika benda pertama mengerjakan gaya terhadap benda kedua, maka benda kedua pun akan mengerjakan gaya terhadap benda pertama yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan".[4]

$$F_1 = -F_2$$

d. Energi mekanik

Energi mekanik pada suatu benda adalah tetap asalkan tidak ada gaya luar yang bekerja pada benda tersebut. Energi mekanik gabungan energi potensial dan energi kinetik. Energi potensial merupakan energi yang dimiliki benda karena letaknya.

$$E_p = m g h$$

dimana:

$$\begin{aligned} E_p &= \text{energi potensial (J)} \\ m &= \text{massa benda (kg)} \\ g &= \text{gravitasi bumi (9.8 m/s)} \\ h &= \text{tinggi jatuh benda (m)} \end{aligned}$$

Energi kinetik merupakan energi yang dimiliki benda karena gerak yang bekerja padanya.

Secara sistematis dirumuskan:

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

dimana:

$$\begin{aligned} E_k &= \text{energi kinetik} \\ v &= \text{kecepatan benda (m/s)}[4] \end{aligned}$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pusat Riset Impak dan Keretakan Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Waktu penelitian dilaksanakan selama lebih kurang 7 bulan terhitung mulai dari proposal penelitian.

Penelitian ini menggunakan bahan *helmet* sepeda dari bahan polimer busa komposit dan komersil atau yang ada di pasaran.

Prosedur pengujian

Prosedur pengujian impak dengan menggunakan alat impak jatuh bebas adalah sebagai berikut:

1. Pasangkan *helmet* sepeda yang akan dilakukan pengujian pada *test rig* seperti dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Pemasangan helmet sepeda pada *tes rig*

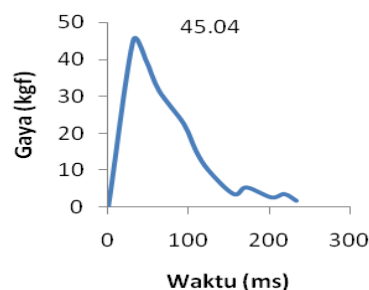
2. Tentukan posisi jarak ketinggian jatuh impaktor yang diinginkan, dan pastikan *sensor proximity* dalam kondisi aktif.
3. Tekan tombol *Start* pada *software DAQ for Helmet Impact Testing*.
4. Setelah jarak ketinggian ditentukan dan memastikan bahwa *sensor proximity* sudah berfungsi, spesimen uji sudah terpasang, maka impaktor siap untuk dijatuhkan dengan cara melepaskan tali penahan luncuran impaktor.
5. Tekan tombol *STOP* setelah beberapa saat impaktor menumbuk spesimen pada *anvil*.
6. Tekan tombol *SAVE* untuk menyimpan data hasil uji ke dalam file berformat txt, dan akan tersimpan dalam drive C folder DATAEXP (data experiment).
7. Data hasil pengujian tersebut kita olah dengan menggunakan program *software MS-EXCEL*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

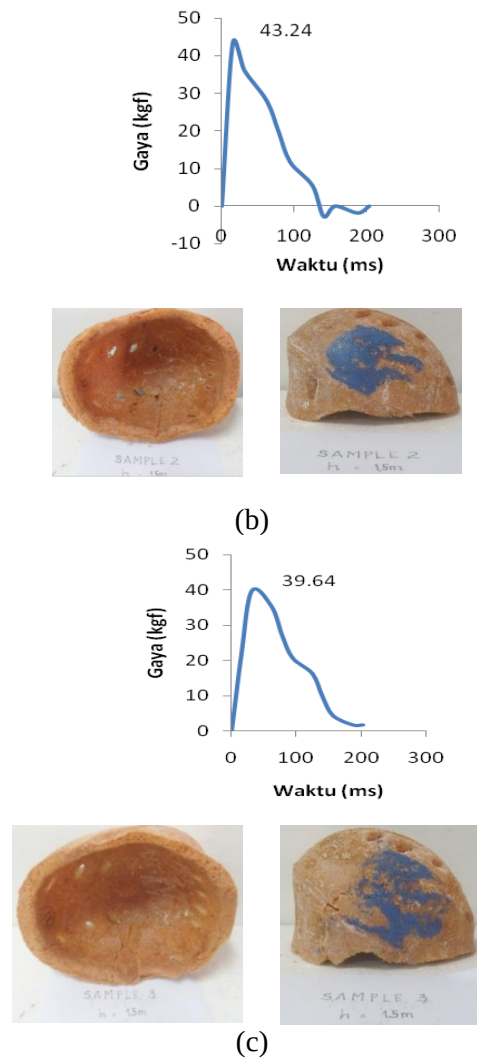
Hasil Pengujian impak jatuh bebas adalah sebagai berikut :

- a. Hasil pengujian *helmet* sepeda metode impak jatuh bebas pada ketinggian 1,5 m.

Pada sampel 1 gaya dan waktu impak adalah 39,64 kgf dan 47 ms, pada sampel 2 adalah 43,24 kgf dan 31 ms dan sampel 3 adalah 45,04 kgf dan 31 ms. Sehingga rerata gaya dan waktu impak adalah 27,93 kgf dan 36,7 ms.



(a)



Gambar 4.1. Grafik hasil pengujian dan keretakan.

Dari hasil pengujian impak jatuh bebas terhadap *helmet* sepeda diperoleh data bahwa besar gaya adalah rerata 42,64 kgf yang berarti sama dengan 418,29 N. Sehingga besar tegangan rerata yang terjadi adalah 3,58 MPa. Tegangan yang terjadi ini menyebabkan *helmet* sepeda pecah yang berarti telah mencapai titik *break point* diperlihatkan gambar 4.25. Impuls yang terjadi akibat impak adalah perkalian antara gaya dan waktu. Pada ketinggian pengujian *helmet* sepeda 1,5 meter diperoleh impuls rerata adalah 15,4 N.s.

Energi impak rerata yang terjadi berdasarkan eksperimental adalah gaya yang terukur dikalikan dengan ketinggian *helmet* sepeda yaitu 627,49 Joule. Energi impak teoritis yaitu perkalian massa dengan percepatan gravitasi dan ketinggian yaitu 105,36 Joule. Dan energi rerata yang diserap oleh *helmet* sepeda adalah selisih energi impak total berdasarkan eksperimental dikurangi dengan energi teoritis yaitu 552,08 Joule. Data ketiga sampel tersebut dituliskan dalam table 4.10

Tabel 4.3 Hasil pengujian *helmet* sepeda dengan impak jatuh bebas pada 1,5 m

No. Sample	Luas area impak A (mm ²)	Gaya Pengujian F (kgf atau N)	Tegangan yang terjadi σ (MPa)	Keterangan
------------	--------------------------------------	-------------------------------	--------------------------------------	------------

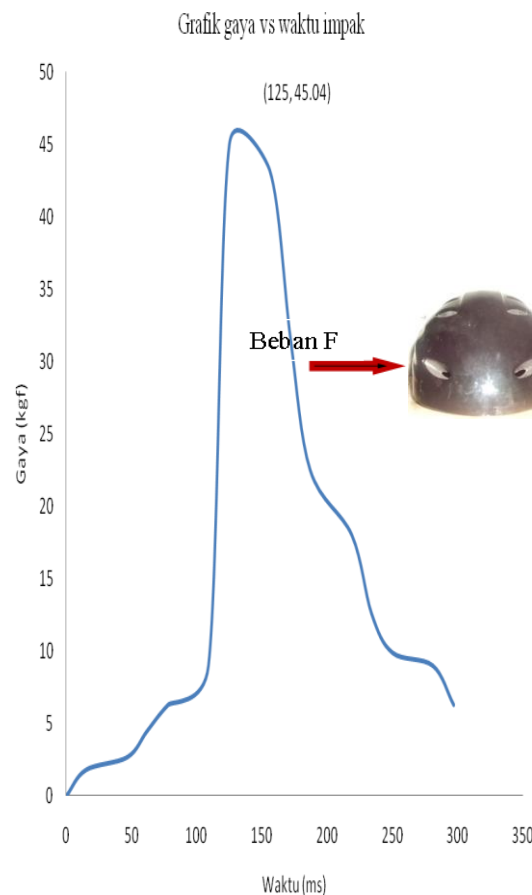
1	117	45.04 atau 441.84	3.78	Pecah
2	117	43.24 atau 424.18	3.63	Pecah
3	117	39.64 atau 388.87	3.32	Pecah

No. Sample	Tinggi h (meter)	Massa helmet + test rig (kg)	Energi Impak Eie = m.g.h (Joule)	Energi Impak Eksperimental Et = F.h (Joule)	Energi yang diserap Es=Eie-Et (Joule)
1	1,5	7,16	105.36	662.76	557.40
2	1,5	7,16	105.36	636.27	530.91
3	1,5	7,16	105.36	583.30	477.94

Tabel 4.3 Lanjutan

b. Pengujian impak jatuh bebas tinggi 1,5 meter pada *helmet* komersial

Berikut hasil pengujian *helmet* sepeda komersial model tomcat xzone dengan standar Inggris BS EN-1070 dengan impak jatuh bebas pada ketinggian 1,5 meter sebagai pembandingan terhadap *helmet* yang diteliti.



Gambar 4.2. Grafik gaya vs waktu impak pada helmet komersial

Pada pengujian impact jatuh bebas terhadap sepeda komersial pada ketinggian impactor 1,5 m diperoleh data gaya impact dan waktu impact yang terjadi adalah 45,04 kgf atau 441,84 N dan 125 ms. Tegangan yang terjadi adalah gaya impact dibagi dengan luas area impact, dimana luas area impact *helmet* sepeda komersial diasumsikan sama dengan *helmet* sepeda bahan komposit pf diperkuat serat tkks yaitu 117 mm² dan tegangan impact *helmet* sepeda komersial 3,78 MPa. Impuls yang terjadi akibat impact adalah perkalian antara gaya dan waktu. Pada ketinggian pengujian *helmet* sepeda 1,5 meter diperoleh impuls adalah 55,23 N.s.

Energi impact yang terjadi berdasarkan eksperimental adalah gaya yang terukur dikalikan dengan ketinggian *helmet* sepeda yaitu 662,76 Joule. Energi impact teoritikal yaitu perkalian massa dengan percepatan gravitasi dan ketinggian yaitu 107,12 Joule. Dan energi yang diserap oleh *helmet* sepeda adalah selisih energi impact total berdasarkan eksperimental dikurangi dengan energi teoritikal yaitu 555,64 Joule.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pengujian impact jatuh bebas pada ketinggian impactor 1,5 m untuk bahan polimer busa komposit diperkuat serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) diperoleh besar gaya rerata 42,64 kgf yang berarti sama dengan 418,29 N dan besar tegangan rerata yang terjadi adalah 3,58 MPa. hasil pengamatan makrostruktur polimer busa komposit akibat beban impact pada ketinggian 1,5 m, serat TKKS tercabut dari matriknya.

Pada pengujian impact jatuh bebas terhadap sepeda komersial pada ketinggian impactor 1,5 m diperoleh besar gaya impact dan waktu impact yang terjadi adalah 45,04 kgf atau 441,84 N dan 125 ms. Tegangan yang terjadi adalah gaya impact dibagi dengan luas area impact, dimana luas area impact *helmet* sepeda komersial diasumsikan sama dengan *helmet* sepeda bahan komposit pf diperkuat serat tkks yaitu 117 mm² dan tegangan impact *helmet* sepeda komersial 3,78 MPa.

Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat pada saat menggunakan alat uji jatuh bebas, pastikan sensor *proximity* yang ada pada batang luncur bekerja dengan baik dan dalam kondisi bagus.

Helmet sepeda bahan polimer busa komposit yang diperkuat serat TKKS masih perlu dilakukan penelitian lanjut untuk memperbaiki dan meningkatkan kekuatan terhadap beban impact jatuh bebas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://asal-usul-motivasi.blogspot.com/asal-usul-sejarah-helm.html>
- [2] Bustami S, Aplikasi Teknik Dua Gage Dalam Pengukuran Tegangan Insiden pada Helmet Industri yang Dikenai Beban Impact Kecepatan Tinggi, *Jurnal Ilmiah SINTEK*, Vol.19, no.2, 2003
- [3] Awaluddin Thayab, Hand Out S2 Teknik Mesin, Pengantar Material Teknik
- [4] Gibson, R.F, *Principles of Composite Material Mechanics*, Mc Graw Hill, New York, 1994
- [5] Bullard, Eksperimen Helm Combat, Perang Dunia I 1915
- [6] <http://duniabengkel.com/helem-helm-helmet-standart.asp>