

Uji Sifat Mekanik Bahan Termoplastik HDPE (High Density Polyethylene)

Lies Banowati, Robby Zieda Hilmi, Bambang Kismono Hadi, dan Rochim Suratman

Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10, Bandung, 40132

Email : liesbano@gmail.com, roby.zieda.hilmi@gmail.com, bkhadi@ae.itb.ac.id, rochim@material.itb.ac.id

Abstrak

Bahan komposit yang menggunakan matriks berupa polimer termoplastik semakin banyak digunakan di dunia medis. Aplikasinya seperti pembuatan alat bantu medis penderita scoliosis. Pada penelitian ini dilakukan pengujian sifat mekanik terhadap bahan termoplastik HDPE (*High Density Polyethylene*). Pengujian yang dilakukan adalah uji kekuatan tarik, uji kekuatan lentur, uji kekuatan *charpy impact*, dan uji massa jenis. Standar yang digunakan dalam pengujian ini adalah ASTM D638-03 untuk uji kekuatan tarik, ASTM D790-03 untuk uji kekuatan lentur, ASTM D6110-04 untuk uji kekuatan *charpy impact*, dan ASTM D792-00 untuk uji massa jenis. Hasil pengujian yang didapatkan kemudian diolah menggunakan metode distribusi Weibull untuk mendapatkan diagram keandalan di setiap pengujian. Berdasarkan hasil pengujian dan pengolahan data yang telah dilakukan, bahan termoplastik HDPE yang digunakan memiliki kekuatan tarik sebesar 29 MPa, kekuatan lentur sebesar 32 MPa, dan kekuatan *charpy impact* sebesar 2,6 J/cm², dengan keandalan sebesar 50%.

Keywords: HDPE, kekuatan tarik, kekuatan lentur, kekuatan *charpy impact*, distribusi Weibull.

Pendahuluan

Bahan polimer adalah bahan yang paling banyak digunakan sebagai matriks. Penggunaan bahan polimer itu dikarenakan sifatnya yang ringan, mudah diolah, tahan korosi, bersifat isolator, *strength-to-weight ratio* yang baik, serta massa jenis yang rendah jika dibandingkan dengan logam dan keramik. Bahan polimer sendiri terbagi menjadi termoset dan termoplastik. Masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan sebagai berikut seperti terlihat pada Tabel 1:

Tabel 1. Perbandingan bahan termoset dan termoplastik

Termoset	Termoplastik
<p>Kelebihan:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Lebih tahan terhadap temperatur tinggi -Lebih tahan terhadap korosi -Lebih tahan terhadap fatigue -Memiliki daya rekat yang baik -Penampilan esthetic yang bagus 	<p>Kelebihan:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Dapat didaur ulang -Lebih tahan terhadap impact -Dapat dibentuk ulang -Lebih tahan terhadap bahan kimia

<p>Kekurangan:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Tidak dapat didaur ulang 	<p>Kekurangan:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Secara umum lebih mahal
--	---

(<http://www.modorplastics.com>, 2013)

Dari sekian banyak bahan termoplastik yang menjadi matriks dalam bahan komposit. Aplikasi bahan termoplastik HDPE (*High Density Polyethylene*) lebih banyak terlihat sebagai bahan tunggal, seperti sebagai botol minuman, meja, kursi, pipa, dan lain-lain. Sedang aplikasi HDPE dalam bentuk komposit masih terbatas. Karena itu dalam penelitian ini akan diteliti kemungkinan HDPE sebagai matriks pada bahan komposit. Untuk itu dibutuhkan data sifat mekanik HDPE sebagai matriks, sehingga pada makalah ini dilakukan pengujian sifat-sifat mekanik terhadap bahan termoplastik HDPE. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kekuatan tarik, uji kekuatan lentur, uji kekuatan impact, dan uji massa jenis. Kemudian data hasil pengujian dianalisis menggunakan metode distribusi Weibull sehingga didapatkan data kekuatan di setiap keandalan yang diinginkan.

Adapun tujuan dari makalah ini adalah:

1. Mendapatkan nilai kekuatan tarik bahan termoplastik HDPE pada keandalan 50% dengan menggunakan *two-parameter Weibull Distribution* dan teori rata-rata.
2. Mendapatkan nilai kekuatan tekuk bahan termoplastik HDPE pada keandalan 50% dengan menggunakan *two-parameter Weibull Distribution* dan teori rata-rata.
3. Mendapatkan nilai energi impact yang mampu diserap bahan termoplastik HDPE per luas penampang pada keandalan 50% dengan menggunakan *two-parameter Weibull Distribution* dan teori rata-rata.
4. Mendapatkan nilai massa jenis bahan termoplastik HDPE yang digunakan.

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberi manfaat yaitu menjadi dasar untuk perancangan struktur komposit PMC (*Polymer Matrix Composite*) dengan serat alam. HDPE sebagai matriks dan serat rami sebagai *fiber*.

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Pembuatan lembar spesimen HDPE menggunakan alat dan bahan sebagai berikut :



Gambar 1. Serbuk HDPE

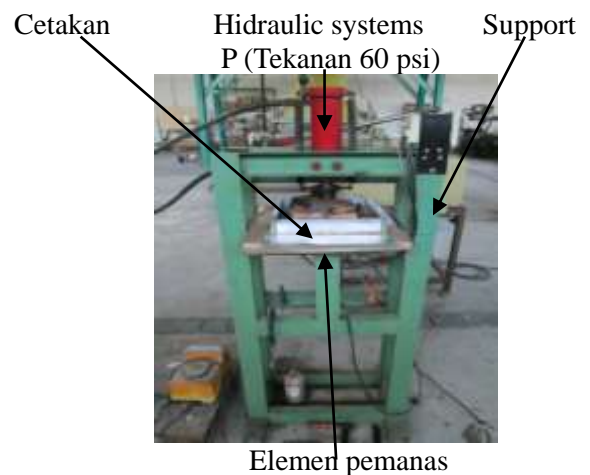


Gambar 2. Kertas Teflon



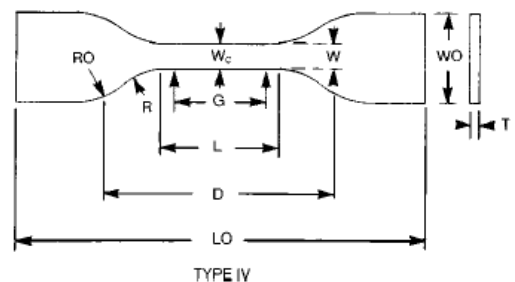
Gambar 3. Cetakan

Gambar 1-3 menunjukkan bahan dasar serbuk HDPE, kertas teflon dan cetakan sebagai alat bantu. Serbuk HDPE dimasukkan ke dalam cetakan yang sudah dilapisi kertas teflon pada permukaan atas dan bawah untuk memudahkan pada saat melepas specimen dari cetakan yang terbuat dari aluminium hingga mencapai ketebalan yang diinginkan, kemudian dimasukkan ke dalam mesin *hot compression molding* yang diberi tekanan dengan menggunakan *hidraulic system* pada bagian atas cetakan sebesar 60 psi selama ± 4 jam, seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Mesin Hot Compression Molding

Kemudian specimen dipotong sesuai dengan ukuran untuk uji tarik bentuk *dogbone* yang mengacu pada standar ASTM D638-03 mengenai "*Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*", seperti terlihat pada Gambar 5.

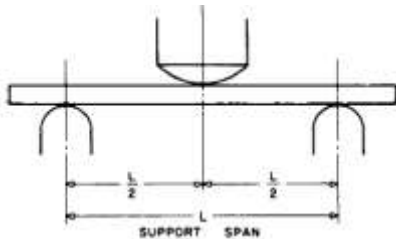


Gambar 5. Spesimen Uji tarik *dogbone* tipe 4

Dengan :

W (*Width of narrow section*): 6 mm
 L (*Length of narrow section*): 33 mm
 WO (*Width overall*): 20 mm
 LO (*Length overall*): 150 mm
 G (*Gage length*): 25 mm
 D (*Distance between grips*): 65 mm
 R (*Radius of fillet*): 14 mm
 RO (*Outer Radius*): 25 mm

Uji lentur menggunakan standar ASTM D790-03 tahun 2003 mengenai “*Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*”, seperti terlihat pada Gambar 6.

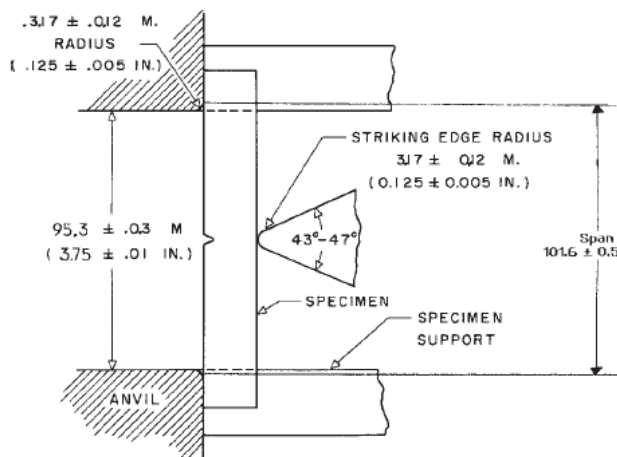


Gambar 6. Support span uji kekuatan lentur

Dengan :

$L = \text{Support span (mm)}$

Sedang pengujian kekuatan *charpy impact* mengacu pada standar ASTM D6110-04 mengenai “*Standard Test Methods for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics*”, seperti terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Ukuran spesimen uji charpy impact

Adapun gambar specimen uji terlihat pada Gambar 8-10.



Gambar 8. Spesimen uji tarik



Gambar 9. Spesimen uji lentur



Gambar 10. Spesimen uji charpy impact

Pengujian tarik dan lentur dilakukan dengan menggunakan mesin TENSILON RTF-1310 seperti pada Gambar 11-12, sedang pengujian *charpy impact* diberikan pada Gambar 13.



Gambar 11. Uji Tarik



Gambar 12. Uji Lentur



Gambar 13. Uji charpy impact

Selanjutnya pengujian massa jenis dilakukan untuk mengetahui nilai massa jenis suatu material dari beberapa spesimen yang menjadi sampel percobaan. Berdasarkan prinsip hukum Archimedes menyatakan bahwa massa sebuah benda sebanding dengan massa air yang dipindahkan. Dari prinsip tersebut dilakukan penimbangan massa spesimen di udara dan massa spesimen di air dengan menggunakan piknometer seperti pada Gambar 14. Mengacu pada ASTM 792 tahun 1998 yang berjudul “*Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement*” didapatkan nilai *specific gravity* atau *relative density* dinyatakan pada Persamaan (1).

$$\text{specific gravity} = \frac{a}{(a - b)} \quad (1)$$

Dimana,

a = massa spesimen di udara

b = massa spesimen di air

Sehingga massa jenis dari spesimen dinyatakan dinyatakan pada persamaan (2).

$$\text{density} = \text{specific gravity of specimen} \times \text{density of water at } 24^{\circ}\text{C} \quad (2)$$



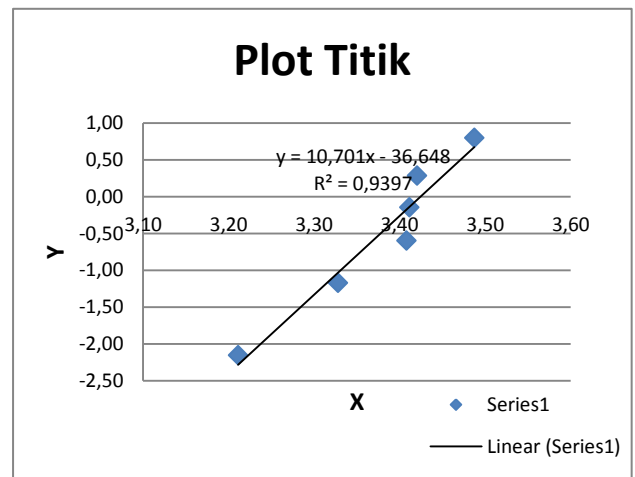
Gambar 14. Piknometer

Hasil dan Pembahasan

Untuk mendapatkan data keandalan, digunakan metode distribusi Weibull. Distribusi Weibull dapat diperoleh dengan terlebih dahulu mengplot titik X dan Y yang kemudian digunakan dalam regresi linear untuk mendapatkan parameter b dan c. Kemudian nilai *median rank* dipakai sebagai pendekatan untuk memperkirakan nilai $F(x_{(i)};b,c)$. Proses regresi linear yang dilakukan terlihat pada Tabel 2.

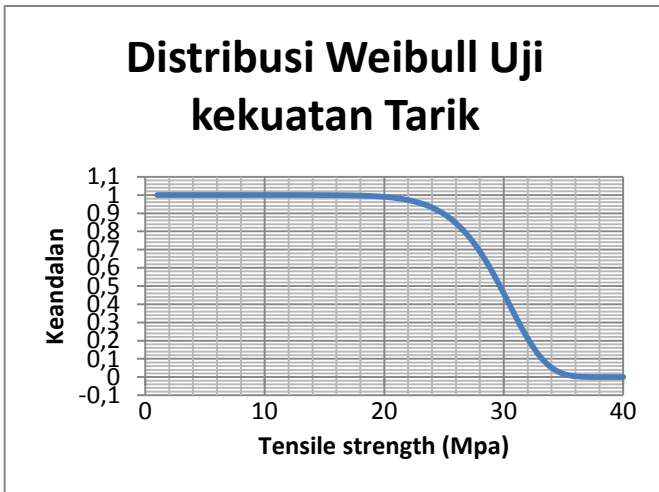
Tabel 2. Plot titik proses regresi linear uji kekuatan tarik

i (Spesimen)	Data Uji (Tensile Strength, MPa)	Ordered	Median Rank	Y	X
1	33	25	0.1094	-2.16	3.21
2	25	28	0.2656	-1.18	3.33
3	30	30	0.4219	-0.60	3.41
4	28	30	0.5781	-0.15	3.41
5	30	31	0.7344	0.28	3.42
6	31	33	0.8906	0.79	3.49



Gambar 15. Plot titik dan regresi linear uji kekuatan tarik

Gambar 15 menunjukkan hasil regresi tersebut. Dari persamaan garis yang didapatkan melalui metode regresi linear, $Y = mX + R$, didapatkan parameter b dan c. Nilai c sama dengan gradien garis atau sama dengan m. Sementara nilai $b = e^{\left(\frac{-Y}{c}\right)}$, dengan memasukkan nilai Y pada saat $X = 0$. Setelah mendapatkan parameter b dan c, nilai keandalan yaitu $R = e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c}$ dapat dicari dan diplot. Gambar 16 adalah grafik distribusi keandalan bahan termoplastik HDPE pada uji kekuatan tarik.



Gambar 16. Distribusi Weibull uji tarik

Dari grafik distribusi keandalan di atas, keandalan 50 % dapat dicari dengan memasukkan nilai keandalan $R = Y = 0.5$, dan X dapat dicari dengan menurunkan Persamaan (3):

$$R(x; b, c) = \exp\left(-\left(\frac{x}{b}\right)^c\right) \quad (3)$$

$$x = b \sqrt[c]{\ln(1/R)}$$

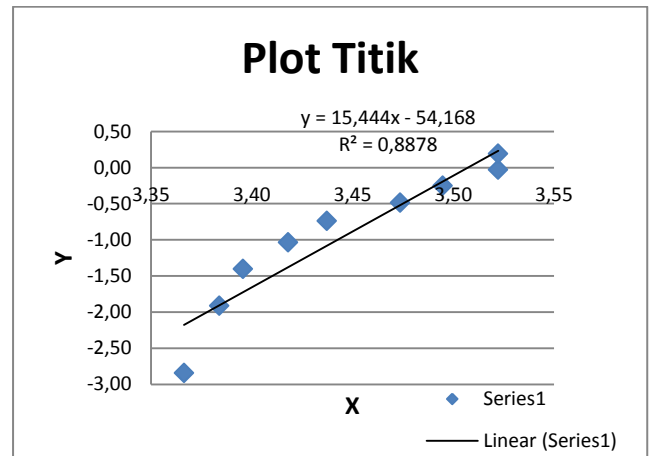
Sehingga pada keandalan 50%, diperoleh kekuatan uji tarik sebesar 29 MPa.

Hasil proses regresi linear hasil uji lentur diberikan pada Tabel 3 dan Gambar 17-18.

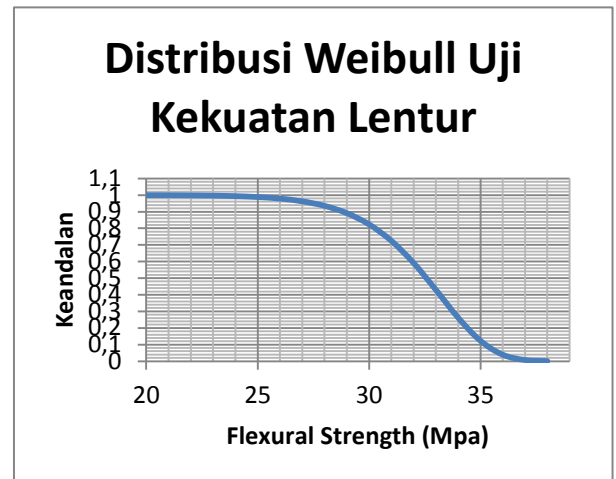
Tabel 3. Plot titik proses regresi linear uji kekuatan lentur

i (Spesimen)	Data Uji (Flexural Strength, MPa)	Urutan	Median Rank	Y	X
1	34.18	28.97	0.06	-2.85	3.37
2	34.06	29.48	0.14	-1.91	3.38
3	33.98	29.84	0.22	-1.40	3.40
4	29.84	30.51	0.30	-1.04	3.42
5	31.10	31.10	0.38	-0.74	3.44
6	33.86	32.26	0.46	-0.49	3.47
7	32.26	32.94	0.54	-0.25	3.49
8	30.51	33.86	0.62	-0.03	3.52
9	28.97	33.86	0.70	0.19	3.52
10	32.94	33.98	0.78	0.42	3.53

11	33.86	34.06	0.86	0.69	3.53
12	29.48	34.18	0.94	1.06	3.53



Gambar 17. Plot titik dan regresi linear uji kekuatan lentur



Gambar 18. Distribusi Weibull uji kekuatan lentur

Sehingga pada keandalan 50%, diperoleh harga *flexural strength* sebesar 32 MPa.

Sedang proses regresi linear hasil uji *charpy impact* diberikan pada Tabel 4 dan Gambar 19-20.

Tabel 4. Plot titik proses regresi linear uji kekuatan *charpy impact*

i (Spesimen)	Data Uji (Flexural Strength, MPa)	Ordered	Median Rank	Y	X
1	2.44	2.41	0.07	-2.56	0.88
2	2.46	2.44	0.18	-1.61	0.89
3	2.41	2.46	0.29	-1.08	0.90
4	2.46	2.46	0.39	-0.69	0.90

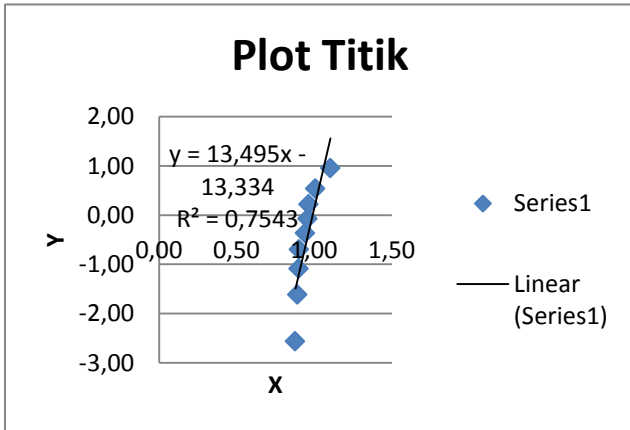
5	2.56	2.56	0.50	-0.37	0.94
6	2.62	2.60	0.61	-0.07	0.96
7	2.60	2.62	0.71	0.22	0.96
8	2.74	2.74	0.82	0.54	1.01
9	3.01	3.01	0.93	0.95	1.10

	Average	0.966
	STDEV	0.038

Jadi massa jenis HDPE yang diperoleh adalah 0.96 g/cm³.

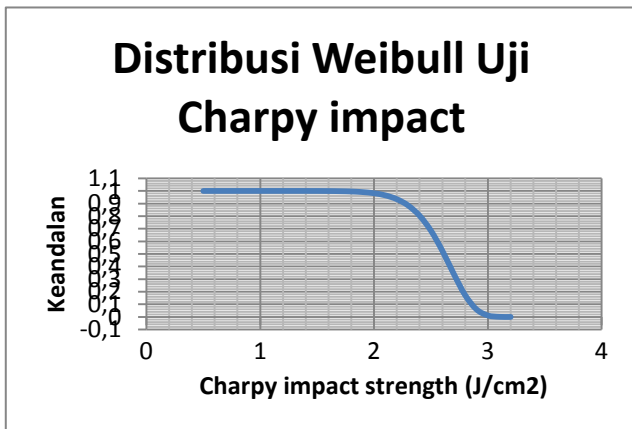
Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan uji mekanik bahan polimer termoplastik HDPE. Hasilnya menunjukkan bahwa sifat-sifat mekanik HDPE yang didapat cukup baik sebagai dasar untuk bahan matriks pada bahan komposit. Tabel 6-8 menunjukkan rangkuman hasil penelitian ini dan perbandingannya dengan bahan polimer lain dan Tabel 9 menunjukkan perbandingan nilai massa jenis HDPE hasil penelitian ini dengan sumber penelitian lain.



Gambar 19. Plot titik dan regresi linear uji kekuatan *charpy impact*

Tabel 6. Data nilai kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan kekuatan *charpy impact* HDPE



Gambar 20. Distribusi Weibull uji *charpy impact*

	Kekuatan Tarik (Mpa)	Kekuatan Lentur (Mpa)	Kekuatan Charpy Impact (J/cm ³)
Rata-rata	29	32	2.59
Keandalan 50%	29	32	2.6

Sehingga pada keandalan 50%, diperoleh *charpy impact strength* sebesar 2.6 J/cm².

Untuk pengujian massa jenis hasilnya diberikan pada Tabel 5.

Tabel 7. Data perbandingan nilai sifat mekanik bahan HDPE hasil pengujian dengan nilai referensi

Tabel 5. Perhitungan nilai massa jenis HDPE

i (Spesimen)	Massa Jenis relative HDPE	Urutan
1	0.85	0.947
2	0.88	0.983
3	0.91	1.010
4	0.83	0.924

	Kekuatan Tarik (Mpa)	Kekuatan Lentur (Mpa)	Kekuatan Charpy Impact (J/cm ²)
HDPE(Hasil Pengujian)	25 – 33 (29)	29 – 34 (32)	2.4 – 3 (2.6)
HDPE (Referensi 1)	18 – 32 (26)	23 – 38 (30)	2.9
HDPE (Referensi 2)	26	20	2
HDPE (Referensi 3)	17 - 32	18 - 29	0.12 - 2.73

Tabel 8.

Data perbandingan nilai sifat mekanik bahan HDPE hasil pengujian dengan bahan termoplastik lain dan bahan termoset

Termoplastik	Kekuatan Tarik (Mpa)	Kekuatan Lentur (Mpa)	Kekuatan Charpy Impact (J/cm ²)
HDPE(Hasil Pengujian)	25 - 33 (29)	29 - 34 (32)	2.4 - 3 (2.6)
PEEK	89 - 140 (102)	24 - 210 (159)	0.08 - 8 (1.49)
PEI	20 - 255 (114)	18 - 385 (182)	0.3 - 1.5 (0.6)

PPS	14 - 150 (83)	52 - 230 (143)	0.7
PEKK	85 - 110 (98.7)	132 - 193 (164)	-
Termoset	Kekuatan Tarik (Mpa)	Kekuatan Lentur (Mpa)	Kekuatan Charpy Impact (J/cm²)
PP Copolymer	23	29	-
PP Homopolymer	36	42	-
Poly ester	10 - 123 (51.5)	53.8 - 265 (127)	0.3 - 4.5 (2.21)
Vinyl ester	30.3 - 993 (206)	40 - 1310 (301)	-
Epoxy	7.58 - 96.5 (48.2)	13.8 - 131 (75.1)	-
Poly imide	16 - 103 (45.1)	6 - 145 (77.7)	0.15 - 1000 (1.32)
Phenolic	41 - 57.9 (53.2)	76 - 109 (85.6)	0.19 - 0.39 (0.305)

Tabel 9. Perbandingan nilai massa jenis HDPE

	HDPE (Hasil Pengujian)	HDPE (Corneliussen, 2002; Camille & Dreyfus, 2000 ; Matbase.com)
Massa jenis, g/cm ³	0.96	0.94 - 0.965

Nomenclature

P	tekanan (psi)
b	<i>scale parameter</i> (parameter yang bergantung pada ukuran spesimen dan bentuk)
c	<i>shape parameter (slope)</i>
x	nilai stress (σ , MPa)

Greek letters

Flexural Strength ,Tensile Strength (MPa)
Charpy Impact (J/cm ³)
Specific grafity (g/cm ³)

Referensi

ASTM D792-00. Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastic by Displacement. Annual book of ASTM standards. United states: ASTM international (2000).

Matbase.com. 2000. Data Table for: Polymers: Commodity Polymers: HDPE, diunduh tanggal 2 September 2012 pukul 20.00 WIB.

Corneliussen ,Roger D.2002.. Properties High Density Polyethylene (HDPE). Copyright.

ASTM D638-03. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. Annual book of ASTM standards.United states: ASTM international (2003).

ASTM D790-03. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.Annual book of ASTM standards.United states: ASTM international (2003).

ASTM D6110-04. Standard Test Methods for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics.Annual book of ASTM standards.United states: ASTM international (2004).

Hadi, Bambang K. Diktat KuliahPN-336 Mekanika Struktur Komposit. Bandung: Penerbit ITB (2000)

Alvionita, D I. Makalah.Aplikasi Penggunaan Material Komposit Pada Produk Pakai Manusia. Bandung: Telkom Art and Desain School (2012)

THE IAPD MAGAZINE. Thermoplastic Composite for Aerospace. United states (2010).

Thermoplastic Properties and Selection Criteria.(<http://mfg.eng.rpi.edu/aml/plastics.html>, diakses Mei 2013)

Thermoset Vs. Thermoplastics.
(<http://www.modorplastics.com/thermoset-vs-thermoplastics>, diakses Mei 2013)

Plastic HDPE.(<http://pranaindonesia.wordpress.com/pemanasan-global/plastik-2-hdpe/>, diakses 2013)