

# **KARAKTERISTIK RAW MATERIAL EPOXY RESIN TIPE BQTN-EX 157 YANG DIGUNAKAN SEBAGAI MATRIK PADA KOMPOSIT (THE CHARACTERISTICS OF RAW MATERIAL BQTN-EX 157 EPOXY RESIN USED AS COMPOSITES MATRIX)**

**Sri Rahayu<sup>1</sup>, Mabe Siahaan<sup>2</sup>**

**Pusat Teknologi Penerbangan**

**Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional**

**Jl. Raya LAPAN, Sukamulya, Rumpin, Bogor 16350 Indonesia**

**<sup>1</sup>e-mail: sri.rahayu.anwar@gmail.com; <sup>2</sup>mabesiahaan@yahoo.co.uk**

**Diterima 13 Januari 2017; Direvisi 12 Februari 2018; Disetujui 15 Februari 2018**

## **ABSTRACT**

The objective of the research is to characterize resin raw material used as matrix in composite. Resins are rigid or semi-rigid polymer materials at room temperature, whereas epoxy resins are a class of organic chemical bonding systems used in special coating or adhesive preparations. This study reports the composition effect of BQTN-EX 157 epoxy resin with its hardener on mechanical, physical, and chemical properties. For the purpose, samples were prepared by varying the composition of the mixture (volume fraction) between epoxy resins and hardener ie 2: 1/4, 2: 1/2, 2: 3/4, and 2: 1. The mixture was molded into plate sheets for 7 days, then were formed into test specimens. The specimens were tested for their ultimate tensile strength ( $\sigma_u$ ) with Universal Testing Machines (UTM) AND RTF-2410 series, their densities ( $\rho$ ) with FH-MD200 series densitometer, and their molecular group with IR Prestige-21 series FTIR. Results show that the lowest and highest mean tensile strength values of 16.4872 and 57.9254 MPa were produced in the mixed compositions of 2: 1/4 and 2: 1, the lowest mean density was 1.1065 g/cc and the highest was 1.1430 g/cc on a mixture of 2: 1 and 2: 1/4 compositions. Furthermore, the absorption frequency value occurs at 1050 -1700  $\text{cm}^{-1}$  and in this frequency region the lowest and highest formation of peak C-O and C=C occurs. Thus it can be concluded that if the amount of volume fraction of hardener more mixed with epoxy resin will increase ultimate tensile strength; decreases density; and resulting into the formation of C-O and C=C compounds.

*Keyword: epoxy resin, hardener, fraksi volume, ultimate tensile strenght, densitas*

## ABSTRAK

Tujuan dari penelitian adalah mendapatkan karakterisasi *raw* material resin yang digunakan sebagai matrik pada komposit. Resin adalah material polimer yang kaku atau semi kaku pada suhu kamar, sedangkan *epoxy* resin adalah kelas sistem ikatan kimia organik yang digunakan dalam preparat lapisan khusus atau perekat. Penelitian ini melaporkan pengaruh komposisi resin *epoxy* BQTN-EX 157 dengan *hardener* terhadap sifat mekanik, fisis, dan kimia. Untuk itu, sampel dibuat dengan variasi komposisi campuran (fraksi volume) antara *epoxy* resin dengan *hardener* 2:1/4, 2:1/2, 2:3/4, dan 2:1. Kemudian campuran dicetak menjadi lembaran plat selama 7 hari, setelah itu lembaran plat dibentuk menjadi spesimen uji. Selanjutnya spesimen diuji kuat tariknya ( $\sigma_u$ ) dengan *Universal Testing Machines* (UTM) seri AND RTF-2410, densitasnya ( $\rho$ ) dengan densitometer seri FH-MD200, dan group molekulernya dengan FTIR seri IRPrestige-21. Secara berturut-turut, nilai rata-rata kuat tarik terendah dan tertinggi adalah 16.4872 dan 57.9254 MPa yang dihasilkan pada komposisi campuran 2 : 1/4 dan 2 : 1, nilai rata-rata densitas terendah 1.1065 g/cc dan tertinggi 1.1430 g/cc pada komposisi campuran 2 : 1 dan 2 : 1/4. Selanjutnya nilai frekuensi penyerapan terjadi pada 1050 ~ 1700  $\text{cm}^{-1}$  dan pada daerah frekuensi ini terjadi pembentukan *peak* C-O dan C=C terendah dan tertinggi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa jika jumlah fraksi volume dari *hardener* semakin banyak dicampur dengan resin *epoxy* akan meningkatkan kuat tarik; menurunkan densitas, dan menghasilkan pembentukan senyawa C-O dan C=C.

Kata kunci: epoxy resin, hardener, fraksi volume, ultimate tensile strenght, densitas

### 1 PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, kemajuan yang menakjubkan dalam aeronautika, astronautika dan industri biomekanik telah memotivasi peneliti untuk bekerja pada bahan struktural baru yang memiliki sifat spesifik yang tinggi. Saat ini penelitian tentang struktur baru tersebut sudah memasuki nano teknologi, diantaranya adalah *carbon nanotube* (CNT) diperkuat komposit polimer salah satu material maju yang menampilkan karakteristik yang sangat menarik yaitu mekanik, termal, kimia, listrik dan optik. Dapat dilihat bahwa sejumlah besar makalah penelitian dan review menjelaskan sifat mekanik komposit CNT yang diperkuat polimer [Meisam Omid *et al.*, 2010]. Poliester adalah salah satu kelompok besar resin sintesis, aplikasinya sangat luas dengan mencampur *vinil* dan katalis radikal bebas pada suhu kamar. *Resin* adalah material polimer yang kaku atau semi kaku pada suhu kamar. *Epoxy resin* adalah kelas sistem ikatan kimia organik yang digunakan dalam preparat lapisan khusus atau perekat.

Sedangkan *epoxy* adalah polimer *thermosetting* yang merupakan produk reaksi dari *epoxy resin* dan *hardener amino* [Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, 2002]. Polimer biasanya *epoxy*, *vinylester* atau *polyester thermosetting* plastik, dan *resin fenol formaldehid* masih digunakan. *Fiber Reinforced Polymer system* (FRPs) umumnya digunakan dalam industri *aerospace*, *otomotif*, kelautan, dan konstruksi. Material komposit adalah merupakan material yang direkayasa atau bahan alami yang terbuat dari dua atau lebih bahan konstituen yang berbeda secara signifikan sifat-sifat fisik atau kimia yang dalam struktur akhir tetap terpisah dan berbeda. *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) komposit digunakan di hampir setiap jenis struktur teknik canggih, dengan penggunaannya berkisar dari pesawat, *helicopter*, pesawat ruang angkasa hingga perahu, kapal, *platform* lepas pantai, mobil, barang-barang olahraga, peralatan pengolahan kimia dan infrastruktur sipil seperti jembatan dan

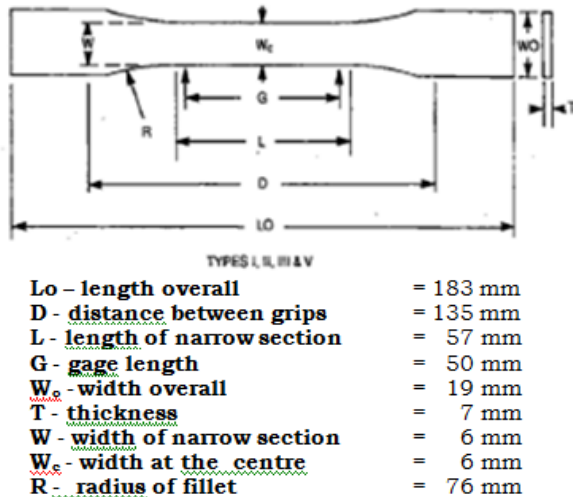
bangunan [Martin Alberto Masuelli, 2013]. [Meisam Omid, *et al.*, 2010] telah berhasil membuat MWCNT/LY-5052 komposit *epoxy* dan perilaku tarik dari matriks murni dan komposit dengan berbagai variasi wt% dari MWCNTs yang diselidiki. Selain dari beberapa wt% dari MWCNT menampilkan peningkatan yang cukup *significant* pada *modulus Young* dan kekuatan tarik dari komposit yang dihasilkan. Ini menegaskan bahwa MWCNT adalah sangat menjanjikan penguatan untuk bahan *epoxy*. Komposit mempunyai fleksibilitas yang tinggi, karena bahan komposit dapat dirancang dari awal dengan menyusun dan mengkombinasikan berbagai karakteristik bahan menjadi bahan dengan karakteristik yang diinginkan dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan berat struktur. [Kurniadi Sukma Wijaya, *et al.*, 2014]. Penelitian lainnya [Dhidhit Wahyu Widyatmaja, *et al.*, Maret 2014] telah dapat menunjukkan pengaruh suhu pencampuran terhadap kekuatan tarik dan *fracture toughness epoxy resin-organoclay montmorillonite nanokomposit*, yaitu dengan bertambahnya suhu maka viskositas *resin* turun sehingga mempermudah penyebaran *clay*. Nilai kekuatan tarik dan *fracture toughness* dari suhu 60 °C hingga 100 °C mengalami peningkatan. [S. Sulaiman, *et al.*, 2008] dalam penelitian yang telah dilakukan mengatakan bahwa analisis hasil uji tarik, lentur dan kekerasan menunjukkan peningkatan nilai dari masing-masing sifat mekanik bilamana fraksi volume pengeras diperbesar menjadi 15% dalam komposit. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi atau campuran antara resin dengan pengeras yang maksimum pada persentase ini, di mana pembentukan cincin aromatik lebih dominan. [Ridzuan Mustafa, *et al.*, 2009] telah mensintesis *resin epoxy* dengan bahan pokok *phenylhydroquinone* yang diawetkan dengan 4-*aminophenylsulfone*, hasil sintesa ini menunjukkan peningkatan temperatur

transisi Tg, suhu dekomposisi. Juga dalam identifikasi yang dilakukan menunjukkan bahwa stabilitas kimia serta kekerasan meningkat sebagai akibat dari jaringan *cross-link*. Mencampur *resin* dengan *hardener* akan menghasilkan kondisi *cure* yaitu proses yang menunjukkan adanya perubahan *properties* karena reaksi kimia dari bentuk cairan menjadi keras. Proses *cure* dapat dilakukan dengan penambahan zat pengering, dengan atau tanpa katalis. Bahan *hardener* merupakan bahan yang menimbulkan terjadinya proses *curing*. [La Maaliku, *et al.*, 2014] menyatakan bahwa *hardener* terdiri dari dua bahan yaitu *asselerator* dan katalisator, di mana kedua material ini akan menimbulkan panas dan panas ini mempercepat proses pengeringan. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik *raw material resin epoxy BQTN-EX 157* dengan variasi komposisi *hardener*. Karakteristik tersebut adalah sifat mekanik, fisis, dan kimia, pada komposisi yang bervariasi. Pengetahuan mengenai karakteristik tersebut berguna dalam aplikasinya pembuatan komposit struktur pesawat LSU LAPAN, yang komponen-komponennya mempunyai persyaratan berbeda.

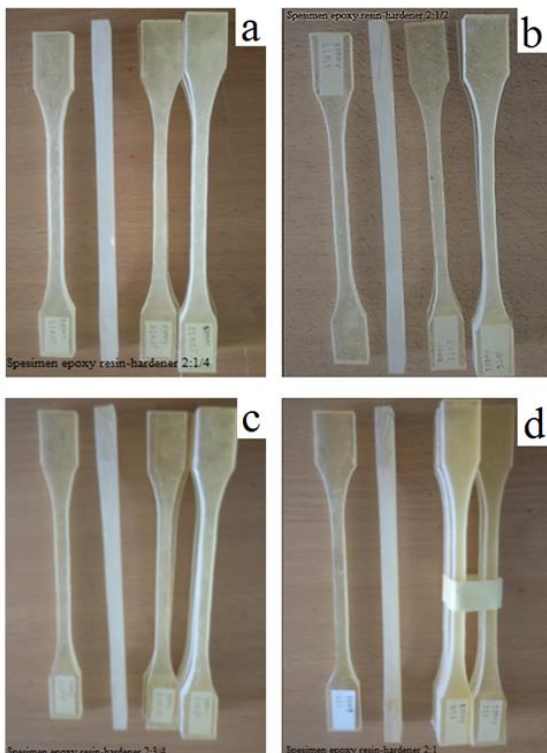
## 2 METODE PENELITIAN

Masing-masing sampel dipreparasi dengan membuat variasi komposisi campuran (fraksi volume) antara *resin epoxy* dengan pengeras/*hardener* yaitu 2:1/4, 2:1/2, 2:3/4, dan 2:1, kemudian diaduk hingga homogen secara berturut-turut. Kemudian campuran tersebut dituangkan ke dalam cetakan dengan ukuran (280x280x10) mm<sup>3</sup> dan ditempatkan pada kondisi STP selama 7 hari sehingga menghasilkan lembaran plat datar yang solid. Setelah itu, lembaran *resin epoxy-hardener* dibentuk menjadi sampel-sampel uji. Selanjutnya untuk sampel uji tarik, spesimen dibuat mengacu pada ASTM D638 type II [Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, 2000], seperti yang disajikan dalam

Gambar 2-1, kemudian kuat tarik maksimum (*ultimate tensile strenght*,  $\sigma_u$ ) diuji dengan *Universal Testing Machines* (UTM) seri AND RTF-2410. Spesimen dengan dimensi (0,5 x 0,5 x 0,5) mm<sup>3</sup> digunakan untuk mengukur densitas,  $\rho$ , dan diuji dengan *densitometer* seri FH-MD200 yang menggunakan prinsip Archimedes dan grup molekuler yang terbentuk dalam sampel diuji dengan FTIR seri IRPrestige-21.



Gambar 2-1: Bentuk sampel uji berdasarkan ASTM D638



Gambar 2-2: Spesimen sebelum menerima perlakuan uji tarik untuk komposisi epoxy resin dengan hardener a) 2:1/4, b) 2:1/2, c) 2:3/4 dan d) 2:1

### 3 HASIL DAN ANALISA

#### 3.1 Uji Tarik

Kuat tarik maksimum (*ultimate tensile strenght*,  $\sigma_u$ ) dari sampel dengan variasi komposisi campuran antara resin dengan pengeras/hardener yaitu 2:1/4, 2:1/2, 2:3/4, dan 2:1 secara berturut-turut dilakukan dengan *Universal Testing Machines* (UTM) seri AND RTF-2410.

Hasil pengukuran dari setiap komposisi epoxy resin dengan pengeras disajikan dalam Gambar 3-1. Pada Gambar 3-1a, 3-1b, 3-1c dan 3-1d adalah bentuk fisik specimen dengan komposisi perbandingan epoxy resin dengan hardener adalah 2:1/4, 2:1/2, 2:3/4, dan 2:1 secara berturut-turut (dalam fraksi volume) setelah menerima perlakuan uji tarik. Dalam Gambar 3-1a tersebut ditampilkan daerah atau posisi yang patah di mana patahnya berada pada posisi yang hampir sama. Sedangkan Gambar 3-1b menampilkan daerah atau posisi patah yang berbeda, namun dapat dikatakan posisi patah yang terjadi relatif sama. Gambar 3-1c dan 3-1d menampilkan daerah atau posisi patah, di mana patahnya ada pada posisi yang hampir relatif sama. Secara umum dapat dikatakan bahwa hasil perlakuan uji tarik yang diterima specimen untuk setiap komposisi menyatakan bahwa homogenisasi belum dicapai dalam pembuatan spesimen. Hasil uji tarik untuk masing-masing komposisi resin epoxy hardener disajikan dalam Gambar 3-2. Dalam Gambar 3-2a disajikan hasil uji tarik specimen untuk perbandingan komposisi resin epoxy dengan hardener 2:1/4 (dalam fraksi volume). Dalam gambar ini ditampilkan hasil uji tarik specimen A adalah  $\sigma_A = 8,276$  MPa dan E adalah  $\sigma_E = 6,145$  MPa memiliki nilai yang terendah dari specimen lainnya. Sedangkan hasil uji tarik yang dihasilkan pada specimen G adalah  $\sigma_G = 14,686$  MPa dan D adalah  $\sigma_D = 15,682$  MPa kedua hasil ini menunjukkan hasil yang relatif sama akan tetapi jauh lebih besar dari hasil uji tarik pada specimen A dan E.

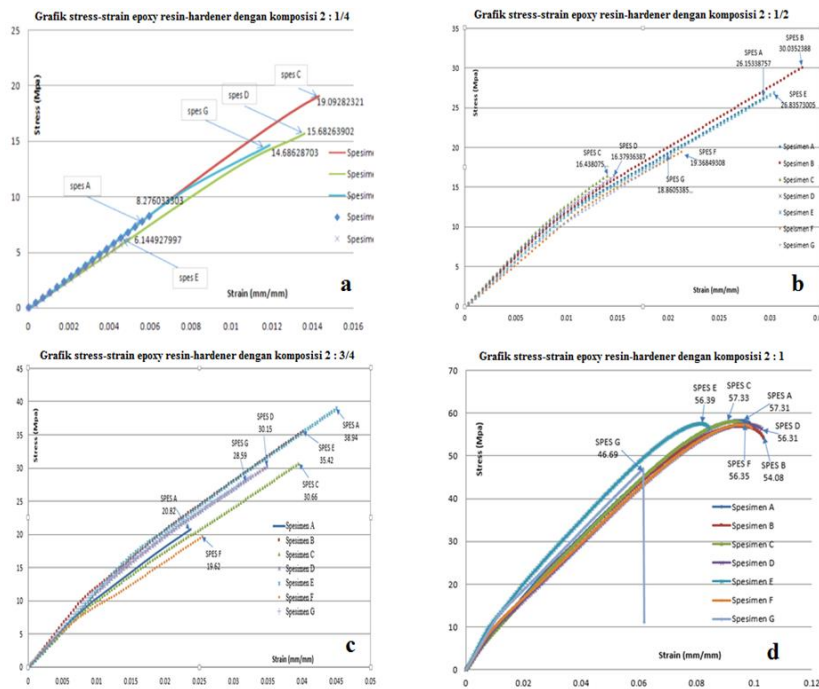


Gambar 3-1: Spesimen setelah menerima perlakuan uji tarik untuk komposisi epoxy resin dengan hardener a) 2:1/4 , b) 2:1/2 , c) 2:3/4 dan d) 2:1

Jika dilihat hasil uji tarik pada specimen C yaitu  $\sigma_C = 19,093$  MPa yang merupakan nilai uji tarik tertinggi pada komposisi ini. Namun nilai ini belum dapat dikatakan sebagai nilai yang sebenarnya karena dari lima pengukuran hanya spesimen C yang memiliki nilai tertinggi. Dengan menggunakan nilai rata-rata dari tiga nilai tertinggi maka nilai uji tarik yang dicapai adalah  $\sigma_{rata-rata} = 16,487$  MPa. Pada Gambar 3-2b disajikan hasil uji tarik spesimen untuk perbandingan komposisi resin epoxy dengan hardener 2:1/2 (dalam fraksi volume). Dalam gambar tersebut ditampilkan bahwa hasil uji tarik pada specimen C dan D adalah  $\sigma_C = 16,438$  MPa dan  $\sigma_D = 16,379$  MPa di mana nilai ini dapat diabaikan jika dibandingkan dengan nilai lainnya, nilai uji tarik pada specimen G dan F adalah  $\sigma_G = 18,86$  MPa dan  $\sigma_F = 19,368$  MPa di mana nilai-nilai  $\sigma_G$  dan  $\sigma_F$  dapat dikatakan relatif sama. Hal ini terjadi karena ketidak homogenan campuran sehingga diprediksi terbentuknya void di dalam sampel. Sedangkan nilai uji tarik pada sampel lainnya A, E dan B adalah  $\sigma_A = 26,153$  MPa,  $\sigma_E = 26,836$  MPa dan  $\sigma_B = 30,035$  MPa.

Dalam hasil ini  $\sigma_A$  dan  $\sigma_E$  memiliki nilai uji tarik yang relatif sama namun sangat *significant* bila dibandingkan dengan nilai  $\sigma_C$ ,  $\sigma_D$ ,  $\sigma_G$  dan  $\sigma_F$ . Nilai tertinggi pada komposisi ini adalah nilai uji tarik  $\sigma_B = 30,035$  MPa. Karena hasil yang didapat adalah bervariasi maka nilai uji tarik rata-rata untuk tiga nilai uji tarik tertinggi pada sampel adalah nilai  $\sigma_{rata-rata} = 27,67$  MPa. Seperti kejadian pada Gambar 3-2a dan b, hal yang sama terjadi juga pada Gambar 3-2c dengan komposisi perbandingan antara epoxy resin dengan hardener adalah 2:3/4 (dalam fraksi volume), di mana hasil yang diperoleh dalam pangujian secara berturut-turut adalah  $\sigma_A = 20,82$  MPa dan  $\sigma_F = 19,62$  MPa, kedua nilai merupakan nilai terendah dalam komposisi ini sehingga dapat diabaikan.





Gambar 3-2: Grafik stress-strain epoxy resin hardener dengan variasi komposisi

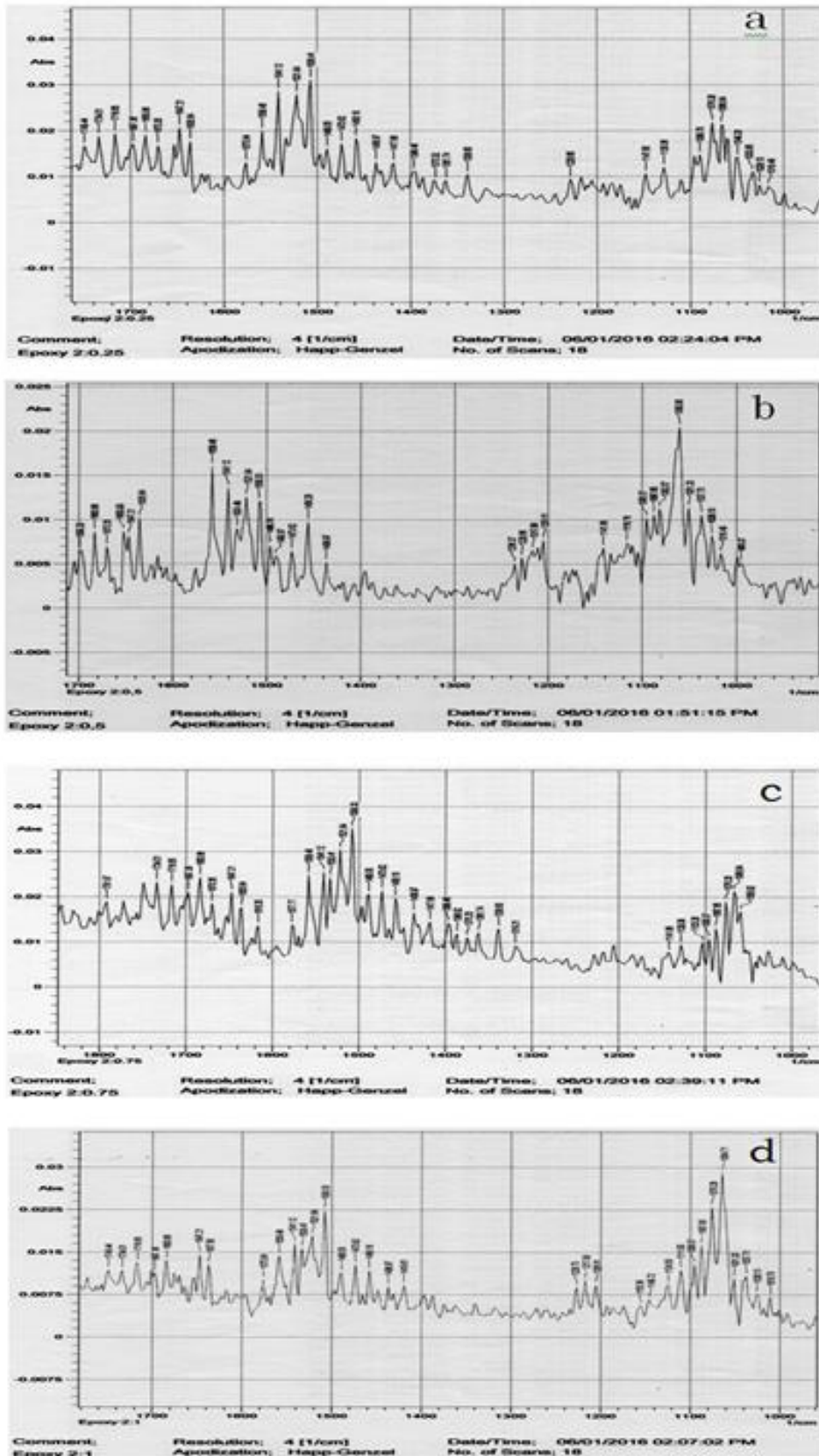
Sementara lima nilai tertinggi adalah sebagai berikut  $\sigma_G$  28,59MPa,  $\sigma_D$  = 30,15 MPa,  $\sigma_C$ =30,66MPa,  $\sigma_E$ = 35,42MPa dan  $\sigma_A$  = 38,54MPa. Dari kelima hasil ini dapat diambil nilai rata-rata uji tarik pada komposisi ini yaitu  $\sigma_{rata-rata}$  = 32,752 MPa. Gambar 3-2d menampilkan hasil uji tarik spesimen untuk perbandingan komposisi resin 2:1 (dalam fraksi volume). Dalam gambar tersebut spesimen G patah sebelum mencapai nilai *ultimate*. Sementara enam spesimen lainnya putus setelah melewati titik *ultimate*. Adapun nilai uji tarik pada titik putus dari specimen adalah  $\sigma_A$  = 57,31 MPa,  $\sigma_B$  = 54,08 MPa,  $\sigma_C$  = 57,33 MPa,  $\sigma_D$  = 56,31 MPa,  $\sigma_E$ = 56,39 MPa dan  $\sigma_F$  = 56,35 MPa, oleh karena itu dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata hasil uji tarik sampel dengan komposisi perbandingan epoxy resin dengan hardener 2:1 adalah 56,295 Mpa. Berdasarkan data hasil penelitian [La Maaliku *et al.*, 2014] bahwa komposisi campuran yang ideal, terdapat pada komposisi campuran yang memiliki nilai tinggi pada campuran dengan perbandingan komposisi 99:1% dan menghasilkan nilai tegangan tarik sebesar 57,44 N/mm<sup>2</sup>.

### 3.2 Uji Fourier Transform Infrared Red (FTIR)

Spektrum Fourier Transform Infrared Red (FTIR) adalah alat yang digunakan untuk mengetahui senyawa kimia yang terbentuk dalam material. Adapun data yang ditampilkan oleh FTIR adalah tinggi rendahnya *peak* yang dihasilkan, seperti yang disajikan dalam Gambar 3-3. Dengan menggunakan [Skoog, Holler dan Nieman, 1998; Mizan Tamimi *et al.*, 2013; Prima Widi Hatmi *et al.*, 1998; Elisa Borowski *et al.*, 2015] maka dapat dihubungkan hasil pengukuran FTIR yang dihasilkan yaitu pada Gambar 3-3a ditampilkan bahwa puncak-puncak gelombang tertinggi telah terbentuk pada frekuensi 1076,28 dan 1066,64 cm<sup>-1</sup>, hal ini menyatakan bahwa telah terbentuk ikatan C=O (*ester*). Selain itu juga telah dihasilkan puncak-puncak pada frekuensi 1506,41 dan 1647,21cm<sup>-1</sup> yang menyatakan telah dihasilkan ikatan C=C (cincin aromatik). Sedangkan pada Gambar 3-3b ditunjukkan bahwa telah terbentuk ikatan C=O (*ester*) pada puncak gelombang tertinggi pada frekuensi 1060,85 cm<sup>-1</sup> dan ikatan C=C (cincin aromatik) telah dihasilkan pada puncak-puncak frekuensi 1558,48 dan

1635,64  $\text{cm}^{-1}$ . Di lain pihak, Gambar 3-3c menyajikan puncak-puncak gelombang tertinggi pada frekuensi 1066,64  $\text{cm}^{-1}$

dan 1103,28  $\text{cm}^{-1}$ , hal ini menyatakan bahwa telah terbentuk ikatan C=O (ester).



Gambar 3-3: Hasil ukur FTIR sampel resin epoxy – hardener dengan komposisi yang bervariasi

Selain gugus *ester* juga telah dihasilkan puncak-puncak pada frekuensi 1508,33 dan 1683,86  $\text{cm}^{-1}$  yang menyatakan telah dihasilkan ikatan C=C (cincin aromatik). Sementara Gambar 3-3d menampilkan puncak-puncak gelombang tertinggi yang dihasilkan ada pada frekuensi 1064,71  $\text{cm}^{-1}$  dan 1111  $\text{cm}^{-1}$  yang berarti bahwa telah terbentuk ikatan C=O (*ester*). Selain itu juga telah dihasilkan puncak-puncak pada frekuensi 1508,33  $\text{cm}^{-1}$  dan 1647,21  $\text{cm}^{-1}$  yang menyatakan telah dihasilkan ikatan C=C (cincin aromatik).

Dari Gambar 3-3a dapat dilihat bahwa dengan perbandingan komposisi *epoxy resin* dengan *hardener* adalah 2 berbanding  $\frac{1}{4}$  menghasilkan intensitas gelombang *ester* yang lemah. Sedangkan dalam Gambar 3-3 b, c dan d perbandingan antara *epoxy resin* dengan *hardener* adalah 2:1/2, 2:3/4 dan 2:1 menampilkan kekerasan yang semakin meningkat jika jumlah fraksi volum *hardener* meningkat. Jika hasil FTIR ini dihubungkan dengan hasil uji tarik dapat dinyatakan bahwa jumlah fraksi volum *hardener* semakin meningkat

dalam komposisi *epoxy resin* maka kekerasannya semakin meningkat.

### 3.3 Uji Densitas

Pengujian densitas merupakan pengujian sifat fisis dari *specimen*, yang bertujuan untuk mengetahui nilai densitas *specimen*. Spesimen dibuat sesuai standart ASTM D638-99 selanjutnya diuji/dihitung densitasnya dengan cara membandingkan massa sampel di udara dengan massa di air sesuai dengan prinsip Archimedes.

Adapun alat yang digunakan adalah *densitometer* FH-MD200. Dari pengukuran yang dilakukan terhadap masing-masing sampel dari setiap komposisi maka diperoleh tabel densitas seperti yang disajikan dalam Tabel 3-1.

Dalam Tabel 3-1 disajikan hasil pengukuran densitas dari masing-masing sampel (setiap komposisi 4 sampel) untuk setiap komposisi perbandingan *epoxy resin* dengan *hardener*. Dari Tabel 3-1 ini dapat dikatakan bahwa bilamana jumlah fraksi volum *hardener* semakin meningkat maka densitas sampel semakin menurun.

Tabel 3-1: HASIL PENGUKURAN MASING-MASING SAMPEL DARI SETIAP KOMPOSISI PERBANDINGAN

No.	Perbandingan fraksi volum <i>Epoxy Resin</i> : <i>Herdener</i>	$\rho$ rata-rata ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$V$ rata-rata ( $\text{mm}^3$ )
1.	2:0,25	1.1430	0.56
2.	2:0,5	1.1358	0.54
3.	2:0,75	1.1206	0.55
4.	2 : 1	1.1065	0.62



#### 4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa dalam preparasi sampel masih dihasilkan *void* sehingga posisi patah dari fisik sampel bervariasi hal ini menyatakan ketidak homogenan sampel. Dengan variasi fraksi volume *hardener* nilai uji tarik yang dihasilkan semakin meningkat bilamana jumlah fraksi volume *hardener* meningkat yaitu 56,295 Mpa (fraksi volume *epoxy resin*: fraksi volume *hardener* yaitu 2:1), hasil yang sama telah dihasilkan juga oleh [La Maaliku *et al.*, 2014]. Sejalan dengan kejadian tersebut dihasilkan juga kekerasan yang semakin meningkat yang merupakan akibat ikatan molekul antara *hardener* dengan *epoxy resin* semakin meningkat dan solidifikasi dalam campuran meningkat juga. Oleh karena itu densitas dari campuran akan menurun yaitu 1,1065 g/cc.

#### 5 UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Ka. Pustekgan Bpk. Gunawan Prastyo atas kesempatan yang diberikan untuk melakukan penelitian ini. Dan penulis juga menyampaikan terimakasih kepada Budi Sulistyoyo yang membantu dalam preparasi sampel, Kosim Abduhrohman dan Widi yang membantu dalam pengujian UTM dan FTIR.

#### DAFTAR RUJUKAN

Dhidhit Wahyu Widyatmaja, *et al.*, Maret 2014. *Pengaruh Suhu Pencampuran Terhadap Kekuatan Tarik Dan Fracture Toughness Epoxy Resin-Organoclay Montmorillonite Nanokomposit*, MEKANIKA, Volume 12 Nomor 2.

Elisa Borowski *et al.*, 5 June 2015. *Interlaminar Fracture Toughness of CFRP Laminates Incorporating Multi-Walled Carbon*

*Nanotubes, Polymers*, www.mdpi.com/journal/polymers ISSN 2073-4360.

- Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, 2002, ACI 440.2R-02., Reported by ACI Committee 440.
- Kurniadi Sukma Wijaya, *et al.*, 2014. *Kekuatan Geser dan Kelenturan Komposit Woven S- Glass Berbasis Epoxy Resin Araldite LY 5138-2 dengan Hardener HY 5138 untuk Basis Data di Bidang Kedirgantaraan*. FMIPA UI.
- La Maaliku *et al.*, 2014. *Pengaruh Komposisi Campuran Hardener dengan Resin Polyester Terhadap Kuat Tarik dan Bending Polimer termoset*. Jurnal Dinamika (ISSN: 2085-8817), Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo, Kendari.
- Martin Alberto Masuelli, 2013. *Introduction of Fibre-Reinforced Polymers-Polymers and Composites: Concepts, Properties and Processes*, <http://dx.doi.org/10.5772/54629>.
- Meisam Omid, *et al.*, 2010. *Prediction of the Mechanical Characteristics of Multi-Walled Carbon Nanotube/Epoxy Composites Using a New Form of the Rule of Mixtures*, Elsevier, Science Direct.
- Michael, J., Moran, Howard N., Shapiro, February 2000. *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. ASTM Designation 638-99.
- Mizan Tamimi *et al.*, May 2013. *Analisis Gugus Fungsi Dengan Menggunakan Spektrokopi FT-IR dari Variasi Kitin Sebagai Substrat Kitinase Bakteri Pseudomonas sp. TNII-54*. UNESA Journal of Chemistry, Vol. 2, No. 2.
- Prima Widi Hatmi *et al.*, Oktober 1998. *Pengaruh Komposisi Katalis Pada Glass Reinforced Polyester Terhadap Sifat Mekaniknya*, Prosid. Pertemuan Ilmiah Sains Materi III, Serpong.
- Ridzuan Mustafa *et al.*, 2009. *Synthesis and Characterization of Rigid Aromatic-based*

*Epoxy Resin*. Malaysian Polymer Jour.  
Vol. 4, No. 2, [www.fkkksa.utm.my/mpj](http://www.fkkksa.utm.my/mpj).  
S. Sulaiman *et al.*, 2008. *Effect of Hardener on  
Mechanical Properties of Carbon Fibre  
Reinforced Phenolic Resin Composites*. J.

of Eng. Sci. and Tech. Vol. 3, No. 1,  
School of Engineering, Taylor's University  
College.  
Skoog, Holler dan Nieman, 1998. *Principle of  
Instrumental Analysis*.