

TUGAS AKHIR

Hilbert Philip Malada
2711100050

Dosen Pembimbing:
Dr. Hosta Ardhyanta, ST., M.Sc.

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

2015

Judul Tugas Akhir :

PENGARUH KOMPOSISI PHENOL DAN
TRIETHYLAMINE SEBAGAI CURING AGENT
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN TERMAL PADA
EPOKSI DGEBA SEBAGAI ADHESIVE BAJA A36

EFFECT OF PHENOL AND TRIETHYLAMINE
COMPOSITION AS CURING AGENT TOWARD
MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES ON
DGEBA EPOXY AS ADHESIVE IN A36 STEEL

OUTLINE

I. PENDAHULUAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

III. METODOLOGI

IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

V. KESIMPULAN DAN SARAN



I. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang
2. Rumusan Masalah
3. Batasan Masalah
4. Tujuan Penelitian
5. Manfaat Penelitian

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Permasalahan

Proses *curing* epoksi dengan *curing agent* berbasis *amine* yang telah umum dipakai membutuhkan waktu hingga berhari-hari.

Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan epoksi *diglycidyl ether bisphenol A* (DGEBA) dan *curing agent phenol* (Ph) dan *triethylamine* (TEA).

Tujuan

Menghasilkan properti mekanik dan termal yang lebih unggul dengan waktu *curing* yang lebih cepat.

PENDAHULUAN

2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi *phenol* dan *triethylamine* terhadap sifat mekanik, fisik dan termal pada epoksi DGEBA?
2. Bagaimana kekuatan *adhesive* epoksi DGEBA dengan *curing agent phenol* dan *triethylamine* pada sambungan baja A36?

PENDAHULUAN

3. Batasan Masalah

1. Temperatur dan tekanan udara dianggap konstan.

2. Proses pencampuran dianggap homogen.

3. Reaksi kimia dianggap homogen.

PENDAHULUAN

4. Tujuan Penelitian

1. Menganalisa dan mempelajari pengaruh variasi komposisi *phenol* dan *triethylamine* terhadap sifat mekanik, fisik dan termal pada epoksi DGEBA.
2. Menganalisa dan mempelajari kekuatan *adhesive* epoksi DGEBA dengan *curing agent phenol* dan *triethylamine* pada sambungan baja A36.

PENDAHULUAN

5. Manfaat Penelitian

Menghasilkan epoksi sebagai *adhesive* yang dapat mengalami proses *curing* pada temperatur rendah dan memiliki sifat mekanik, fisik dan termal yang baik sehingga dapat diaplikasikan sebagai *adhesive* pada sambungan material logam.

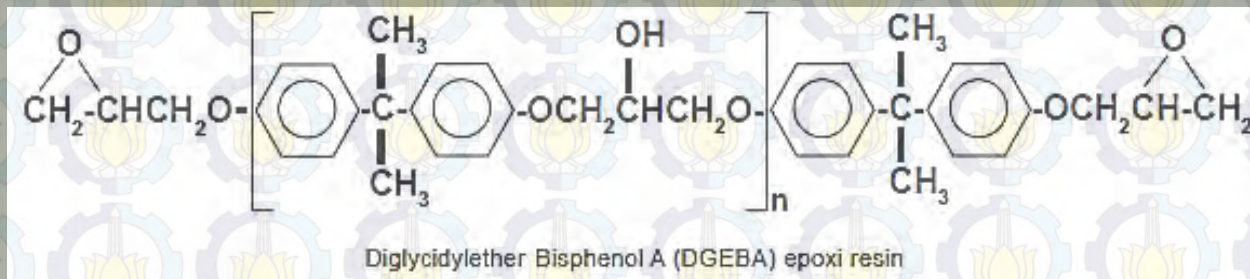


II. TINJAUAN PUSTAKA

TINJAUAN PUSTAKA

Epoksi DGEBA

Epoksi DGEBA adalah resin epoksi yang diturunkan dari reaksi *bis(4-hydroxy phenylene)-2,2 propane* (disebut *bisphenol A*) dan *1-chloroprene 2-oxide* (disebut *epichlorohydrin*) (Pascault, et al., 2010).



Struktur kimia resin epoksi DGEBA (Augustsson, 2004)

Epoksi memiliki kekuatan tinggi, penyusutan rendah, adhesi yang baik dengan berbagai substrat, isolasi listrik yang efektif, tahan terhadap bahan kimia dan pelarut, murah, dan bertoksisitas rendah (Boyle, et al.).

TINJAUAN PUSTAKA

Phenol (Ph)

Phenol (Ph) adalah senyawa yang memiliki gugus *hydroxyl* yang melekat secara langsung pada cincin *benzene*. *Phenol* merupakan nama spesifik untuk *hydroxybenzene* dan nama umum untuk kelompok senyawa turunan *hydroxybenzene* (Solomons, et al., 2013).



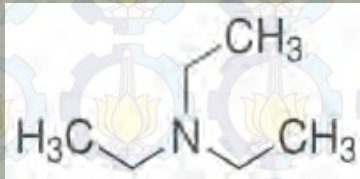
Struktur Kimia *Phenol* (Solomons, et al., 2013)

Termoset dengan Ph menghasilkan karakteristik isolasi panas, sifat *adhesive* dan ketahanan kimia yang baik, juga dapat mempertahankan properti dalam kondisi operasi yang berat, serta memiliki adsorpsi kelembaban rendah dan tidak ada reaksi samping (Pham, 2011).

TINJAUAN PUSTAKA

Triethylamine (TEA)

Triethylamine (TEA) merupakan jenis dari *tertiary amine*, hidrogen aktif yang telah sepenuhnya digantikan oleh karbon hidroksida. *Tertiary amine* tidak menyebabkan reaksi tambahan pada resin epoksi, tetapi bekerja sebagai katalis polimerisasi (Three Bond, 1990).

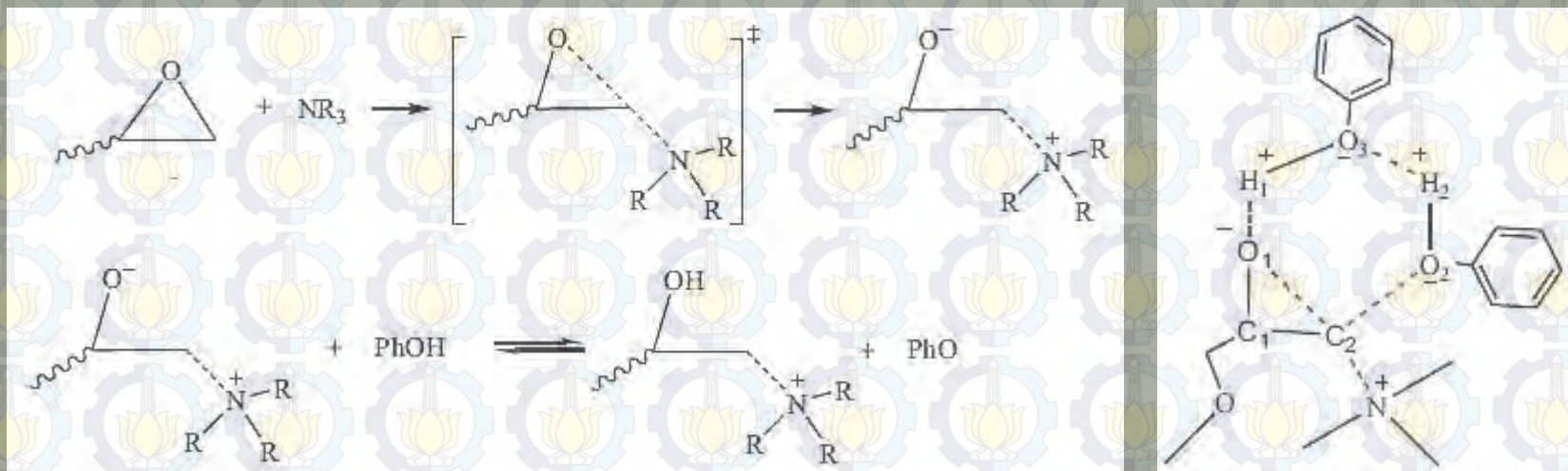
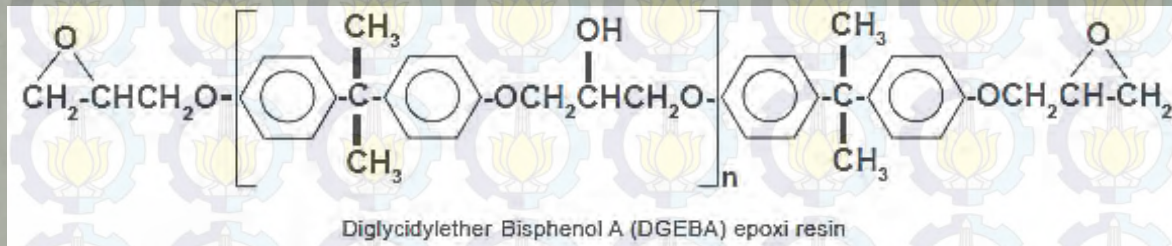


Struktur Kimia *Triethylamine* (Bohling, et al., 2007)

TEA merupakan material awal pada preparasi surfaktan, bahan pembantu dalam tekstil dan proses pengapungan, inhibitor korosi dan buih, aditif untuk keperluan farmasi dan sebagai antioksidan untuk lemak dan minyak (Bohling, et al., 2007).

TINJAUAN PUSTAKA

Reaksi *curing* DGEBA/TEA/Ph



Shechter and Wynstra's pathway (Pham, 2011)

TINJAUAN PUSTAKA

Perekatan / Pengeleman

Adhesive : materi yang diaplikasikan di antara dua materi lain untuk merekatkannya sehingga membentuk sambungan melalui gaya kohesi dan adhesi.

Ikatan yang kuat terjadi ketika *adhesive* menempel dengan kuat secara :

1. Mekanis (*anchored*) pada substrat
2. Kimia (adsorpsi – gaya van der Waals).

Tegangan permukaan *adhesive* < tegangan permukaan substrat.

Tegangan permukaan epoksi : 35-45 mN/m (Augustsson, 2004).

TINJAUAN PUSTAKA

Baja ASTM A36

Baja yang diaplikasikan secara umum untuk struktur, termasuk jembatan dan bangunan.

Berikut adalah spesifikasi baja ASTM A36 (ASTM, 2001).

| Product | Shapes ^A | Plates ^B | | | | | Bars | | | |
|--|---------------------|---------------------|--|---|---|-----------------|--------------------|--|-----------------------------------|-----------------|
| | | To ¾ [20], incl | Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl | Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl | Over 2½ to 4 [65 to 100], incl | Over 4 [100] | To ¾ [20], incl | Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl | Over 1½ to 4 [100], incl | Over 4 [100] |
| Carbon, max, % | 0.26 | 0.25 | 0.25 | 0.26 | 0.27 | 0.29 | 0.26 | 0.27 | 0.28 | 0.29 |
| Manganese, % | ... | ... | 0.80-1.20 | 0.80-1.20 | 0.85-1.20 | 0.85-1.20 | ... | 0.60-0.90 | 0.60-0.90 | 0.60-0.90 |
| Phosphorus, max, % | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| Sulfur, max, % | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Silicon, % | 0.40 max | 0.40 max | 0.40 max | 0.15-0.40 | 0.15-0.40 | 0.15-0.40 | 0.40 max | 0.40 max | 0.40 max | 0.40 max |
| Copper, min, % when copper steel is specified | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |

Plates, Shapes,^B and Bars:

Tensile strength, ksi [MPa]

58-80 [400-550]

Yield point, min, ksi [MPa]

36 [250]^C

Plates and Bars^{D,E}:

Elongation in 8 in. [200 mm], min, %

20

Elongation in 2 in. [50 mm], min, %

23

Shapes:

Elongation in 8 in. [200 mm], min, %

20

Elongation in 2 in. [50 mm], min, %

21^B

TINJAUAN PUSTAKA

Data penelitian sebelumnya (DGEBA/PAA(20)) (Liemawan, 2014), (Ramaputra, 2014) :

1. Resin epoksi : DGEBA (80%)
2. *Curing agent* : *Polyaminoamide* (PAA) (20%) (DGEBA/PAA(20))

| Properties | Value |
|-------------------------|--------|
| Tensile Strength (MPa) | 0,01 |
| Elongation (%) | 12,78 |
| Young Modulus (GPa) | 0,0001 |
| Adhesive Strength (MPa) | 7,83 |
| T _{5%} (°C) | 351,33 |
| T _{10%} (°C) | 361,50 |
| Residue (wt%) | 6,16 |



III. METODOLOGI

1. Diagram Alir Penelitian
2. Alat dan Bahan Penelitian
3. Pelaksanaan Penelitian
4. Pengujian

METODOLOGI

1. Diagram Alir Penelitian



METODOLOGI

2. Alat dan Bahan Penelitian

1. Bahan Penelitian

Resin Epoksi DGEBA

Phenol crystal

Triethylamine

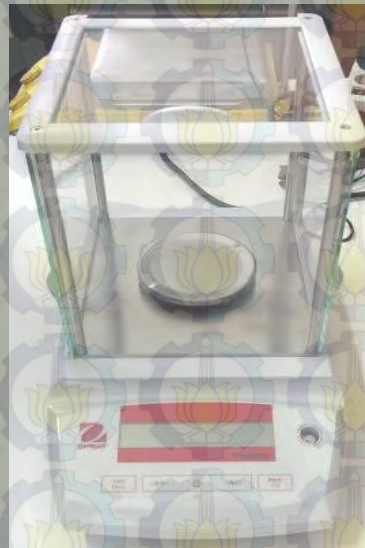


METODOLOGI

2. Alat dan Bahan Penelitian

2. Alat Penelitian

Timbangan Digital



Electric Oven



METODOLOGI

2. Alat dan Bahan Penelitian

2. Alat Penelitian

Magnetic Stirrer



Wadah Aluminium



Pipet



Cetakan Spesimen Uji Tarik



METODOLOGI

2. Alat dan Bahan Penelitian

2. Alat Penelitian

Mesin FTIR



Mesin Uji Tarik



METODOLOGI

2. Alat dan Bahan Penelitian

2. Alat Penelitian

Mesin Sputter Coater



Mesin SEM



Mesin TGA



METODOLOGI

3. Pelaksanaan Penelitian

Diglycidyl ether bisphenol-A (DGEBA), *triethylamine* (TEA) dan *phenol* (Ph) dicampur dengan rasio berat DGEBA/TEA/Ph sebesar 80/20/0, 80/16/4, 80/12/8, 80/8/12, 80/4/16 dan 80/0/20 dalam wadah aluminium.

Larutan DGEBA/TEA/Ph diaduk secara kontinu menggunakan *magnetic stirrer* selama 10 menit, lalu dituang ke dalam cetakan aluminium dan dioleskan pada baja A36.

Larutan DGEBA/TEA/Ph *dicuring* dengan temperatur 50°C selama 12 jam dalam oven elektrik.

METODOLOGI

3. Pelaksanaan Penelitian

Tabel Rencana Pelaksanaan Penelitian

| No | Kode Sampel | DGEBA (% berat) | TEA (% berat) | Ph (% berat) | Hasil |
|----|---------------------|--------------------|------------------|-----------------|-------|
| 1 | DGEBA/TEA(20)/Ph(0) | 80 | 20 | 0 | |
| 2 | DGEBA/TEA(16)/Ph(4) | 80 | 16 | 4 | |
| 3 | DGEBA/TEA(12)/Ph(8) | 80 | 12 | 8 | |
| 4 | DGEBA/TEA(8)/Ph(12) | 80 | 8 | 12 | |
| 5 | DGEBA/TEA(4)/Ph(16) | 80 | 4 | 16 | |
| 6 | DGEBA/TEA(0)/Ph(20) | 80 | 0 | 20 | |

METODOLOGI

4. Pengujian



METODOLOGI

4. Pengujian

| Material (% berat) | | | | Pengujian | | | | | |
|--------------------|-----|--------|---------------------|-----------|-----------------|--------------------|---------|----------------------|---------|
| Epoksi | TEA | Phenol | Kode Sampel | Uji FTIR | Uji Tarik (MPa) | Uji Adhesive (MPa) | Uji SEM | Uji Water Absorption | Uji TGA |
| 80 | 20 | 0 | DGEBA/TEA(20)/Ph(0) | - | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | 16 | 4 | DGEBA/TEA(16)/Ph(4) | - | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| | 12 | 8 | DGEBA/TEA(12)Ph(8) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | 8 | 12 | DGEBA/TEA(8)/Ph(12) | - | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | 4 | 16 | DGEBA/TEA(4)/Ph(16) | - | - | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| | 0 | 20 | DGEBA/TEA(0)/Ph(20) | - | - | - | - | - | - |



IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Curing Epoksi DGEBA dengan Curing Agent Phenol dan Triethylamine
2. Analisis Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)
3. Analisis Pengujian Tarik
4. Analisis Pengujian Adhesive
5. Analisis Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)
6. Analisis Pengujian Water Absorption
7. Analisis Pengujian TGA (*Thermogravimetry Analysis*)

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Curing Epoksi DGEBA dengan Curing Agent Phenol dan Triethylamine

- Hasil proses curing epoksi

| No | Kode Sampel | Hasil | Tampilan Fisik |
|----|---------------------|---------|--------------------------|
| 1 | DGEBA/TEA(20)/Ph(0) | Cured | Solid, Putih-kekuningan |
| 2 | DGEBA/TEA(16)/Ph(4) | Cured | Solid, Putih-kekuningan |
| 3 | DGEBA/TEA(12)/Ph(8) | Cured | Solid, Bening-kekuningan |
| 4 | DGEBA/TEA(8)/Ph(12) | Cured | Solid, Bening-kekuningan |
| 5 | DGEBA/TEA(4)/Ph(16) | Cured | Solid, Bening-kekuningan |
| 6 | DGEBA/TEA(0)/Ph(20) | Uncured | - |

- $T_{\text{curing}} < 50^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Proses *curing* berjalan lambat

- $T_{\text{curing}} > 50^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Terjadi fenomena *bubble* yang memunculkan banyak *void*.

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

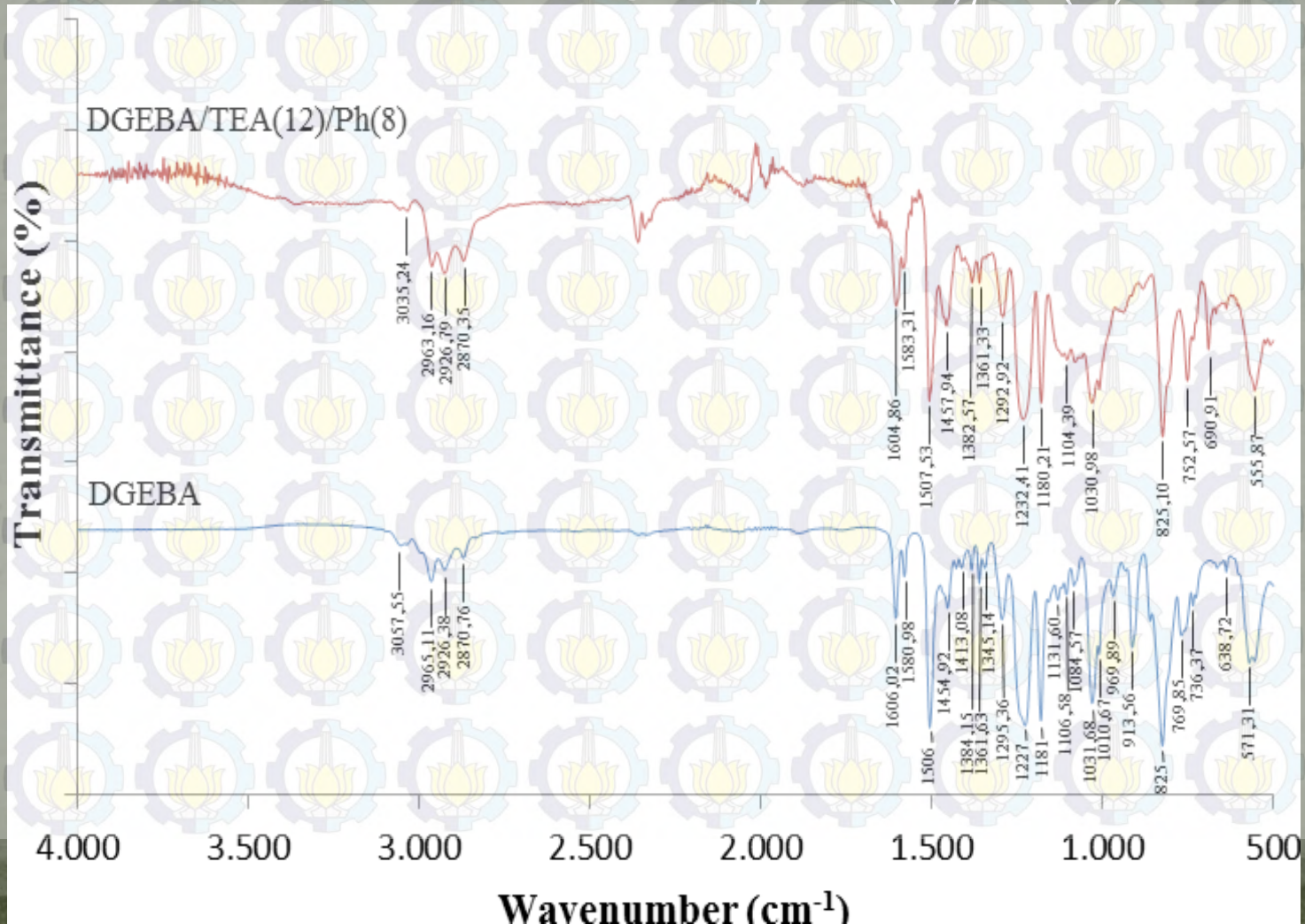
2. Analisis Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

- Karakteristik *oxyrane ring* pada epoksi DGEBA (Gonzales, et al., 2012):
 1. Wavenumber 3050 cm^{-1} : rantai C-H pada gugus fungsi *oxyrane*
 2. Wavenumber 915 cm^{-1} : rantai C-O pada gugus fungsi *oxyrane*
- Reaksi *curing* DGEBA dikenal dapat dilakukan dengan pengaruh gugus -OH, seperti *phenol* (Huang, et al., 2002).

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

2. Analisis Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

- Spektrum FTIR DGEBA dan DGEBA/TEA(12)/Ph(8).



ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

2. Analisis Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

Daerah serapan DGEBA (Gonzales, et al., 2012), (Tomasi, 2014), (Cholake, et al., 2014)

Daerah serapan DGEBA/TEA(12)/Ph(8) (Gonzales, et al., 2012), (Tomasi, 2014), (Cholake, et al., 2014)

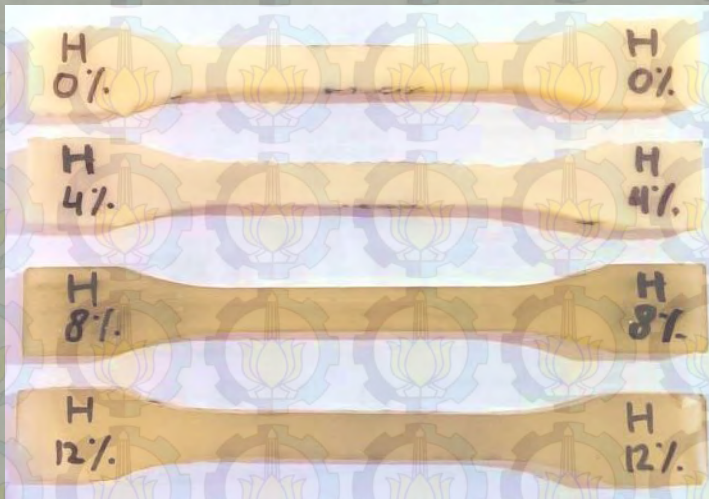
| Wavenumber (cm ⁻¹) | Ikatan | Gugus Fungsi |
|--------------------------------|-----------------------|---------------------|
| 3057 | C-H Stretch | Oxyrane Ring |
| 2965-2870 | C-H Stretch | Aliphatic, Aromatic |
| 1606 | C=C Stretch (in-ring) | Aromatic |
| 1506 | C-C Stretch (in-ring) | Aromatic |
| 1181 | C-O Stretch | Aromatic |
| 1131-1031 | C-O-C Stretch | Ether |
| 913 | C-O Stretch | Oxyrane |
| 769 | C-H Rock | Benzene |

| Wavenumber (cm ⁻¹) | Ikatan | Gugus Fungsi |
|--------------------------------|-----------------------|---------------------|
| 3035 | C-H Stretch | Oxyrane Ring |
| 2963-2870 | C-H Stretch | Aliphatic, Aromatic |
| 1604 | C=C Stretch (in-ring) | Aromatic |
| 1507 | C-C Stretch (in-ring) | Aromatic |
| 1232 | C-O Stretch | Phenol |
| 1232-1030 | C-N Stretch | Aliphatic Amine |
| 1180 | C-O Stretch | Aromatic |
| 1030 | C-O-C Stretch | Ether |
| 752 | C-H Rock | Benzene |

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

3. Analisis Pengujian Tarik

- Spesimen DGEBA/TEA(4)/Ph(16) tidak dapat dibuat karena bersifat sangat getas, sehingga spesimen pecah ketika dikeluarkan dari cetakan spesimen.



Spesimen uji tarik sebelum pengujian



Spesimen uji tarik setelah pengujian

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

3. Analisis Pengujian Tarik

- Hasil pengujian tarik :

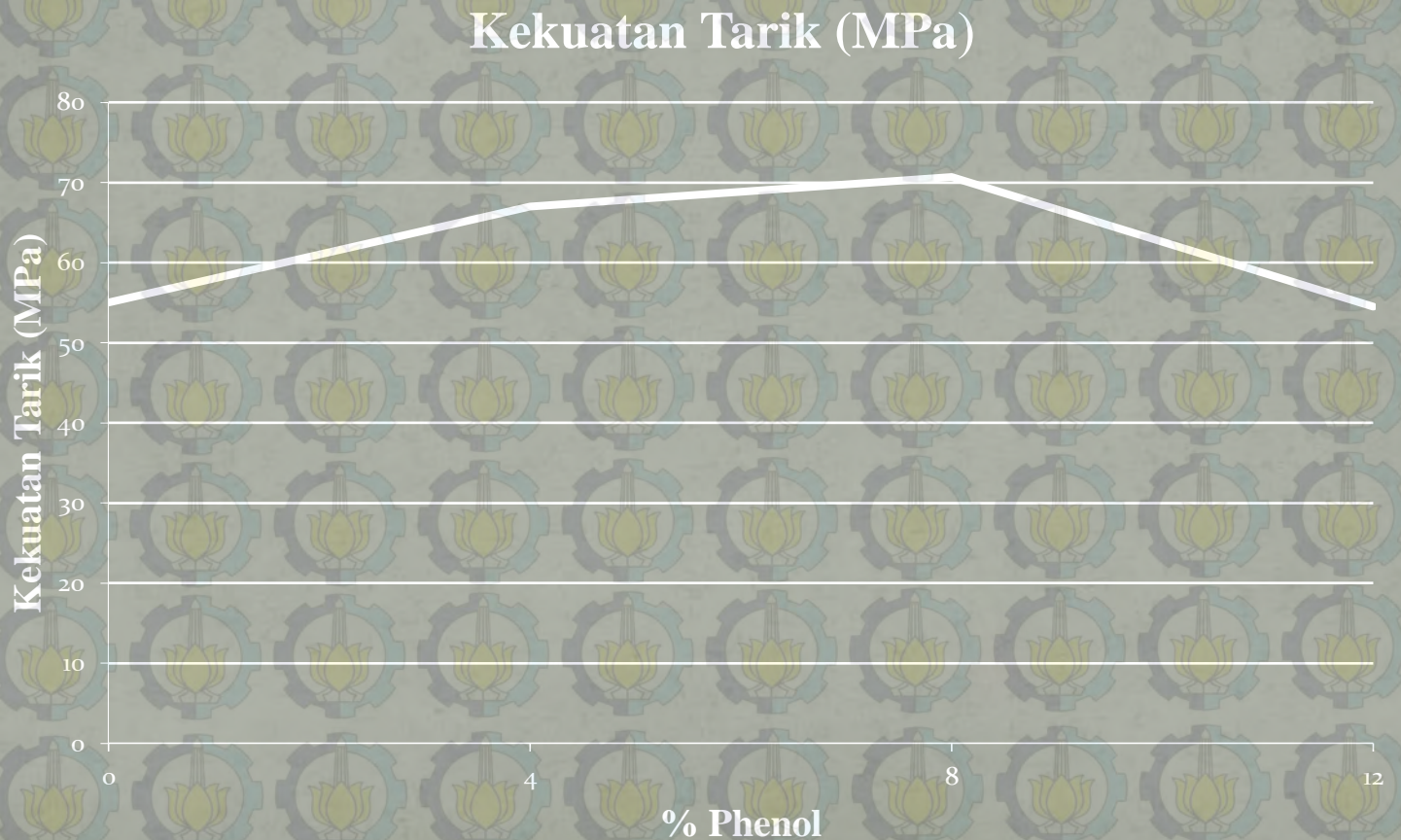
| No | Kode Sampel | σ_{\max} (Kgf/mm ²) | σ_{\max} (MPa) | Elongasi (%) | Modulus Young (MPa) |
|----|---------------------|---|--------------------------|-----------------|------------------------|
| 1 | DGEBA/TEA(20)/Ph(0) | 5,61 | 55,02 | 2,68 | 2052,99 |
| 2 | DGEBA/TEA(16)/Ph(4) | 6,83 | 66,98 | 2,57 | 2606,23 |
| 3 | DGEBA/TEA(12)/Ph(8) | 7,21 | 70,71 | 4,07 | 1737,35 |
| 4 | DGEBA/TEA(8)/Ph(12) | 5,56 | 54,53 | 1,01 | 5399,01 |
| 5 | DGEBA/TEA(4)/Ph(16) | - | - | - | - |
| 6 | DGEBA/TEA(0)/Ph(20) | - | - | - | - |

- Kekuatan tarik maksimum : 70,71 MPa - DGEBA/TEA(12)/Ph(8)
- Elongasi maksimum : 4,07 % - DGEBA/TEA(12)/Ph(8)
- Modulus Young maksimum : 5399,01 MPa - DGEBA/TEA(8)/Ph(12)

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

3. Analisis Pengujian Tarik

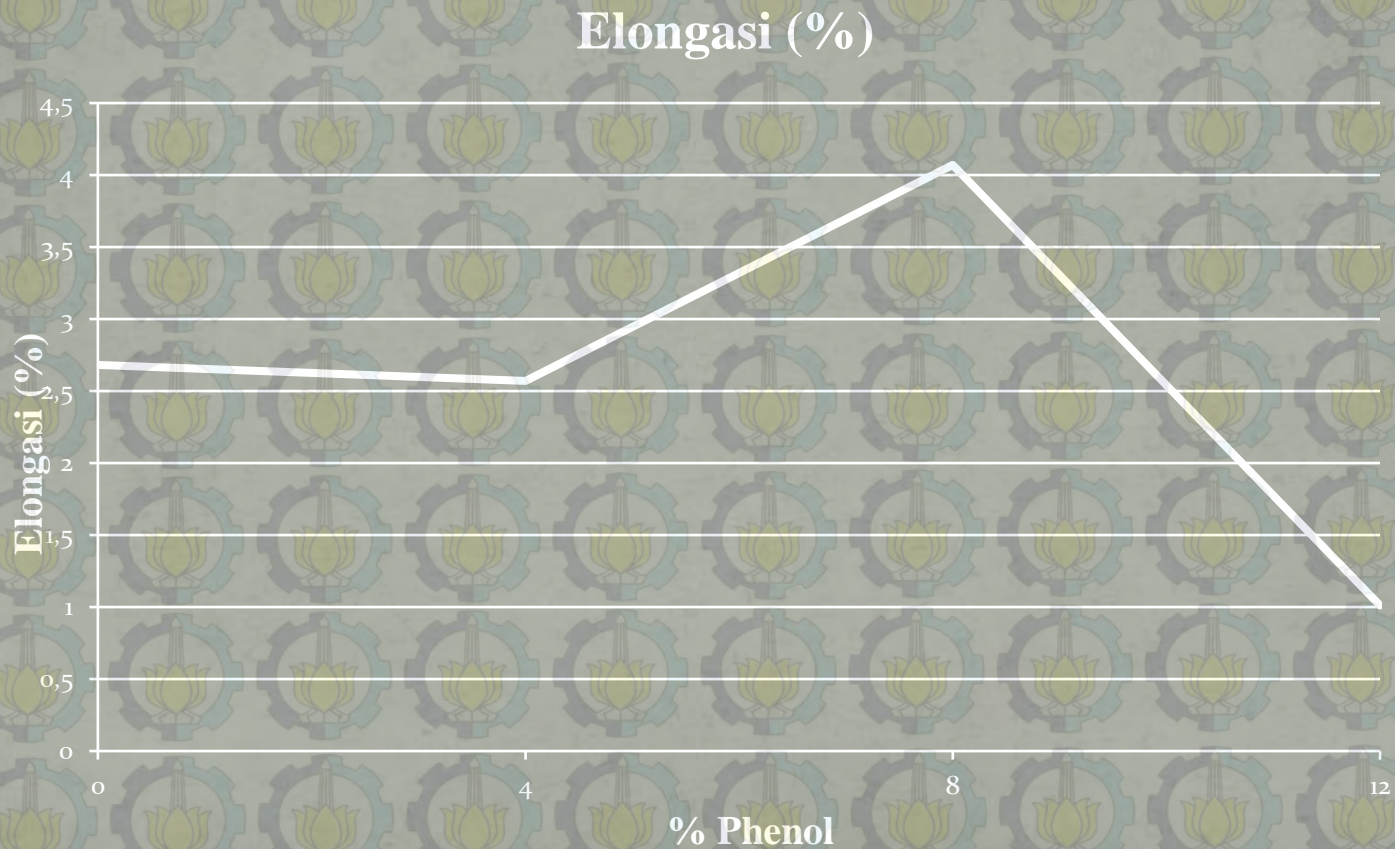
- Hasil pengujian tarik :



ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

3. Analisis Pengujian Tarik

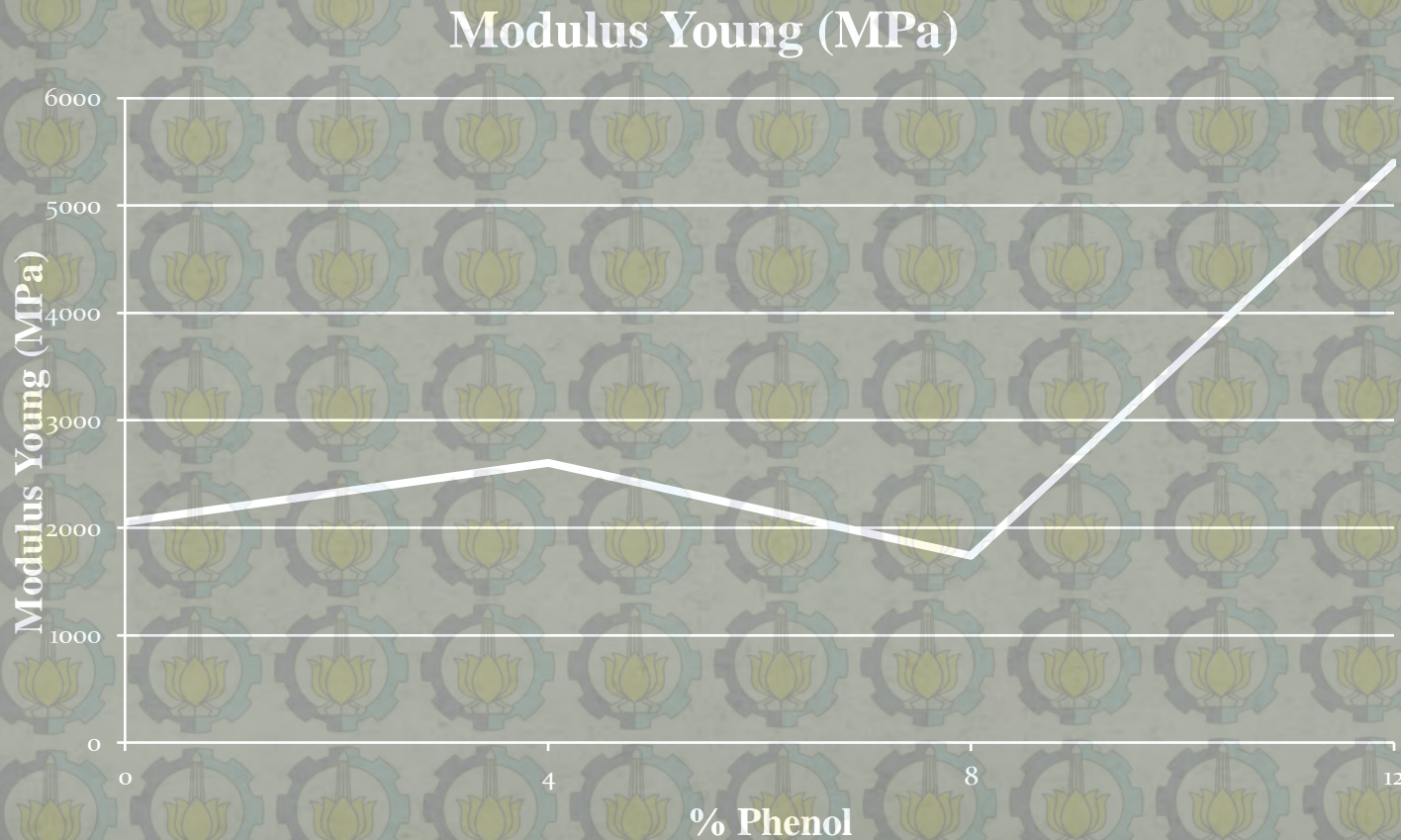
- Hasil pengujian tarik :



ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

3. Analisis Pengujian Tarik

- Hasil pengujian tarik :



ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

3. Analisis Pengujian Tarik

- Perbandingan kekuatan tarik DGEBA/TEA(12)/Ph(8) dan epoksi komersial

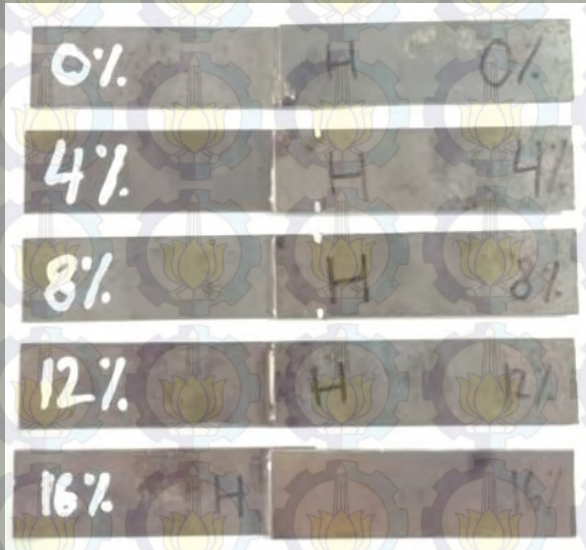
| No | Kode Sampel | Kekuatan Tarik (MPa) | Elongasi (%) | Modulus Young (MPa) |
|----|---------------------|----------------------|--------------|---------------------|
| 1 | DGEBA/TEA(12)/Ph(8) | 70,71 | 4,07 | 1737,35 |
| 2 | Epoksi Komersial* | 48 | 3,10 | 2420 |

* Resin epoksi DGEBA, hardener *polyamine* (PA), T_{curing} : RTP, pemasok : M/s Sharon Engineering Enterprises, Cochin (Neagu, 1998).

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4. Analisis Pengujian Adhesive

- Pengujian dilakukan dengan metode *single-lap shear* atau *tensile-shear test*.



Spesimen uji adhesive sebelum pengujian



Spesimen uji adhesive setelah pengujian

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4. Analisis Pengujian Adhesive

- Hasil pengujian *adhesive* :

| No | Kode Sampel | σ_{\max} (Kgf/mm ²) | σ_{\max} (MPa) |
|----|---------------------|--|-----------------------|
| 1 | DGEBA/TEA(20)/Ph(0) | 1,34 | 13,14 |
| 2 | DGEBA/TEA(16)/Ph(4) | 1,30 | 12,75 |
| 3 | DGEBA/TEA(12)/Ph(8) | 1,29 | 12,65 |
| 4 | DGEBA/TEA(8)/Ph(12) | 1,14 | 11,18 |
| 5 | DGEBA/TEA(4)/Ph(16) | 1,12 | 10,98 |
| 6 | DGEBA/TEA(0)/Ph(20) | - | - |

- Kekuatan geser maksimum : 13,14 MPa - DGEBA/TEA(20)/Ph(0)
- Kekuatan geser semakin menurun seiring dengan naiknya rasio berat Ph (Augustine, et al., 2014).

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4. Analisis Pengujian Adhesive

- Hasil pengujian *adhesive* :



ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4. Analisis Pengujian Adhesive

- Pada seluruh spesimen hasil pengujian teramati bahwa kegagalan terjadi pada *interface* DGEBA/TEA/Ph dengan logam, bukan pada substrat logam baja maupun pada epoksi.
- Metode *sand-blasting* dapat digunakan untuk memperkasar permukaan *overlap* pelat baja sehingga meningkatkan *mechanical bonding* atau *mechanical locking* antara permukaan *overlap* pelat baja dengan epoksi (Cognard, 2005).

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4. Analisis Pengujian Adhesive

- Perbandingan kekuatan geser DGEBA/TEA(20)/Ph(o) dan epoksi dari dua penelitian sebelumnya.

| No | Komposisi | Kekuatan Geser (MPa) |
|----|----------------------------|----------------------|
| 1 | DGEBA/TEA(20)/Ph(o) | 13,14 |
| 2 | DGEBA/PAA(20)/Kobalt(4%)* | 8,4 |
| 3 | DGEBA/PAA(20)/Mepoxe(4%)** | 8,23 |

* Resin epoksi DGEBA, *hardener* poli(amino amid) (PAA), katalis kobalt, T_{curing} : RTP (Liemawan, 2014)

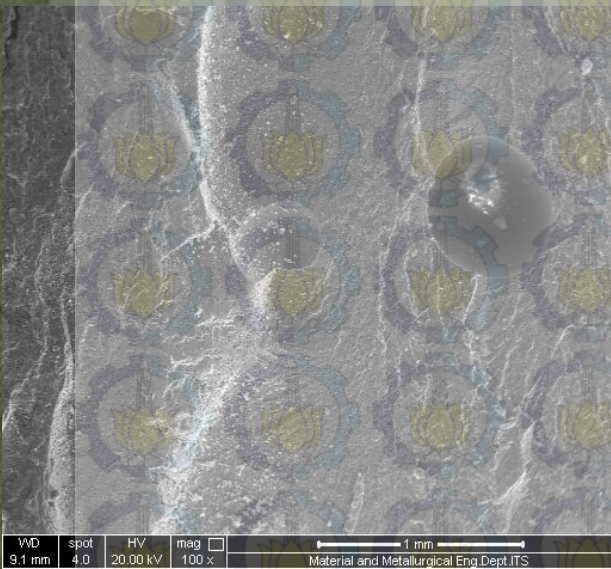
** Resin epoksi DGEBA, *hardener* poli(amino amid) (PAA), katalis metil etil keton peroksida (mepoxe), T_{curing} : RTP (Ramaputra, 2014)

- Kekuatan geser seluruh variasi komposisi DGEBA/TEA/Ph lebih tinggi dari epoksi pembanding (Huang, et al., 2012).

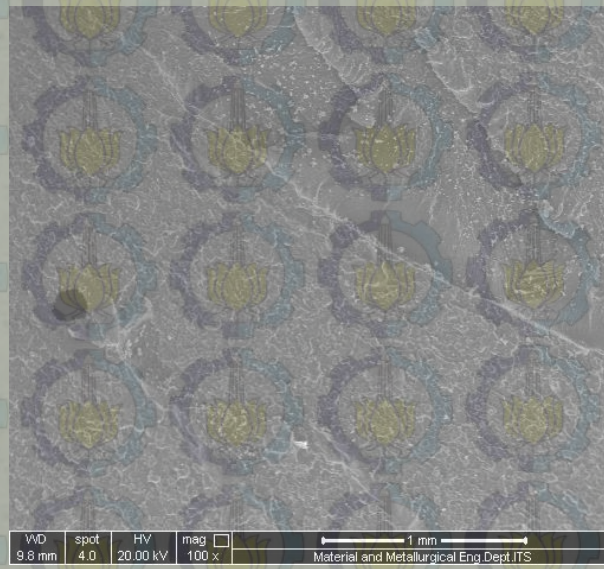
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

5. Analisis Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)

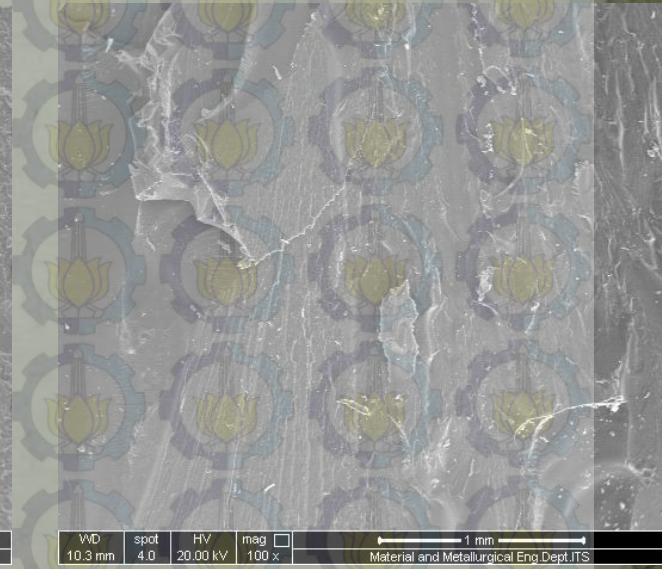
- Perbesaran 100x



DGEBA/TEA(20)/Ph(0)



DGEBA/TEA(12)/Ph(8)

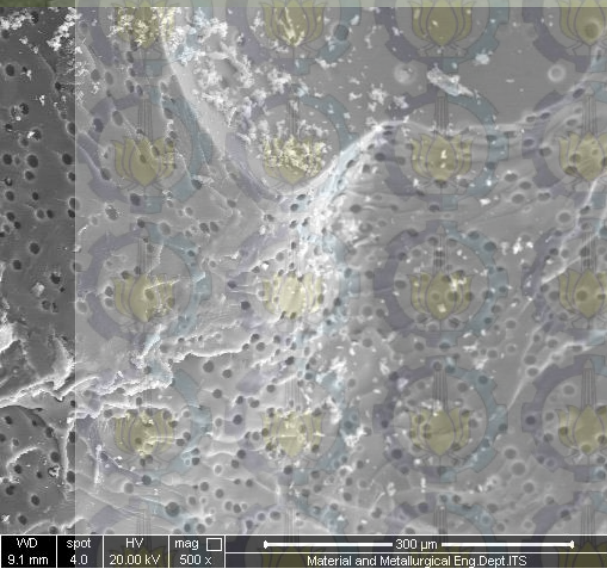


DGEBA/TEA(8)/Ph(12)

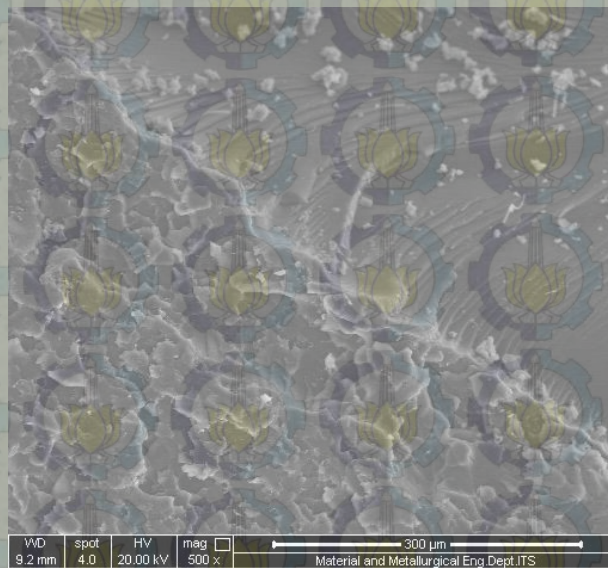
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

5. Analisis Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)

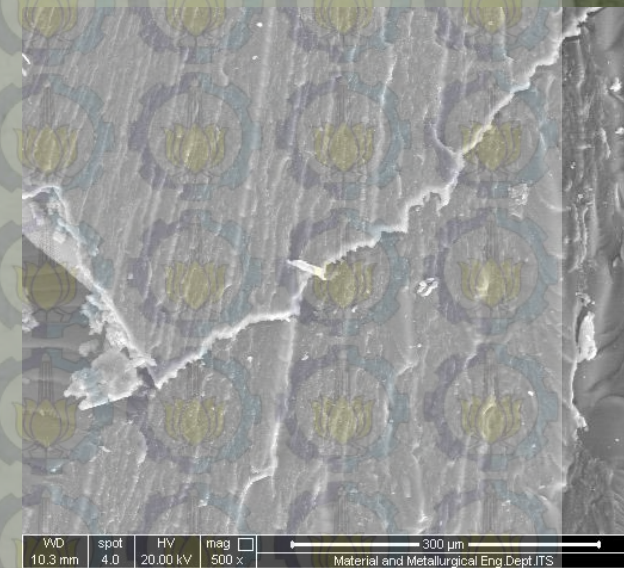
- Perbesaran 500x



DGEBA/TEA(20)/Ph(0)



DGEBA/TEA(12)/Ph(8)

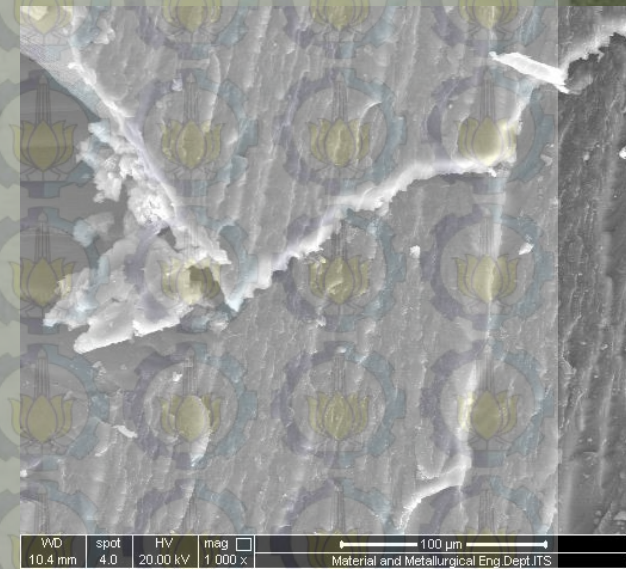
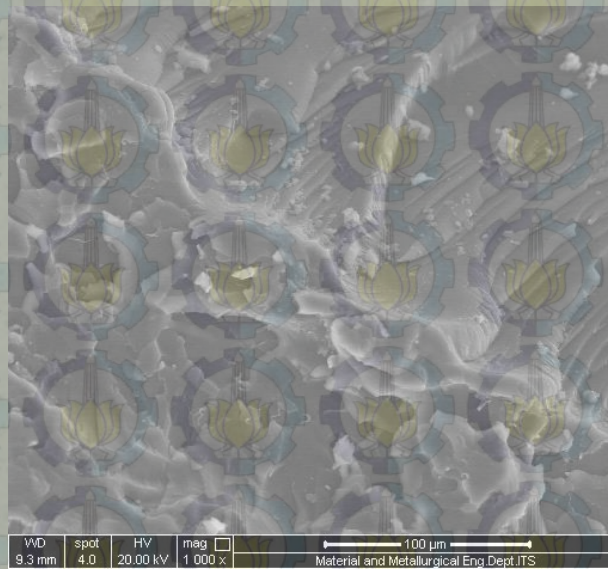
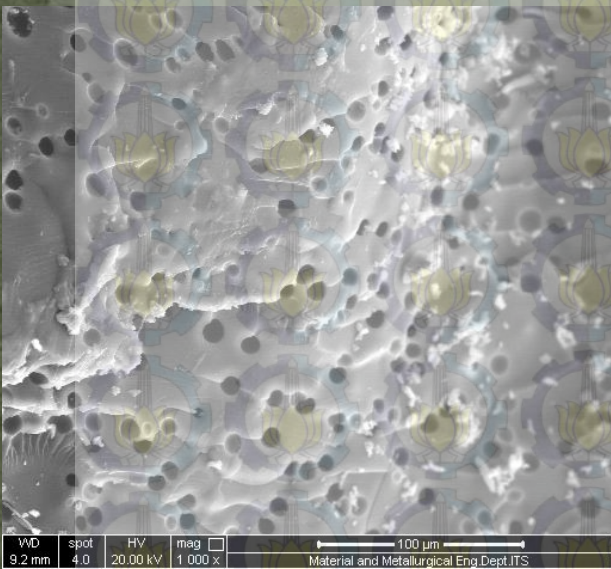


DGEBA/TEA(8)/Ph(12)

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

5. Analisis Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)

- Perbesaran 1000x



DGEBA/TEA(20)/Ph(o)

DGEBA/TEA(12)/Ph(8)

DGEBA/TEA(8)/Ph(12)

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

6. Analisis Pengujian Water Absorption

- Hasil pengujian *water absorption* berupa persentase pertambahan berat :

| No | Kode Sampel | 1 hari (%) | 7 hari (%) | 14 hari (%) | 21 hari (%) | 28 hari (%) | Total (%) |
|----|---------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 1 | DGEBA/TEA(20)/Ph(0) | 1,66 | 1,68 | 1,31 | 0,96 | 0,78 | 6,39 |
| 2 | DGEBA/TEA(16)/Ph(4) | 0,62 | 0,94 | 1,31 | 0,03 | 0,61 | 3,51 |
| 3 | DGEBA/TEA(12)/Ph(8) | 0,11 | 0,24 | 1,62 | 0,78 | 0,97 | 3,72 |
| 4 | DGEBA/TEA(8)/Ph(12) | 0,59 | 0,81 | 0,62 | 0,41 | 0,44 | 2,87 |
| 5 | DGEBA/TEA(4)/Ph(16) | 0,41 | 0,66 | 0,35 | 0,36 | 0,30 | 2,08 |
| 6 | DGEBA/TEA(0)/Ph(20) | - | - | - | - | - | - |

- Laju serapan air terendah : 2,08% - DGEBA/TEA(4)/Ph(16)

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

6. Analisis Pengujian Water Absorption

- Hasil pengujian *water absorption* berupa persentase pertambahan berat :



ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

6. Analisis Pengujian Water Absorption

- Penyerapan air selama 28 hari diperkirakan telah mencapai kondisi *quasi-equilibrium*. Penyerapan air terus berlanjut hingga kondisi *equilibrium*, tetapi molekul air hanya akan berada pada *micro-void* dan permukaan material saja (Chow, 2007).
- Sambungan *adhesive*-logam lebih sensitif terhadap putusnya ikatan kimia pada lingkungan kerja yang lembab daripada sambungan *adhesive*-keramik atau *adhesive*-plastik dikarenakan faktor korosi (Cognard, 2005).

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

6. Analisis Pengujian Water Absorption

- Perbandingan total serapan air DGEBA/TEA(4)/Ph(16) dan epoksi komersial selama 28 hari.

| No | Kode Sampel | Serapan Air (%) |
|----|---------------------|-----------------|
| 1 | DGEBA/TEA(4)/Ph(16) | 2,08 |
| 2 | Epoksi Komersial* | 0,49 |

* Resin epoksi DGEBA, *hardener* campuran *amine* alifatik dan aromatik (*polyethylenimine* – *m-xylenediamine* – *nonylphenol*), T_{curing} : RTP, RH : $50 \pm 5\%$, produsen : MAPEI S.p.A. (Italia) (Lettieri, et al., 2012).

- Water absorption* seluruh variasi komposisi DGEBA/TEA/Ph lebih buruk dari epoksi komersial sehingga tidak cocok untuk diaplikasikan pada lingkungan kerja yang basah atau lembab.

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

7. Analisis Pengujian TGA (*Thermogravimetry Analysis*)

- Stabilitas termal dianalisis dengan membandingkan :

- $T_{5\%}$: Temperatur ketika epoksi terdegradasi sebanyak 5%
- $T_{10\%}$: Temperatur ketika epoksi terdegradasi sebanyak 10%
- T_{id} : Temperatur ketika mulai terjadi dekomposisi material
- T_{pd} : Temperatur pada puncak dekomposisi material

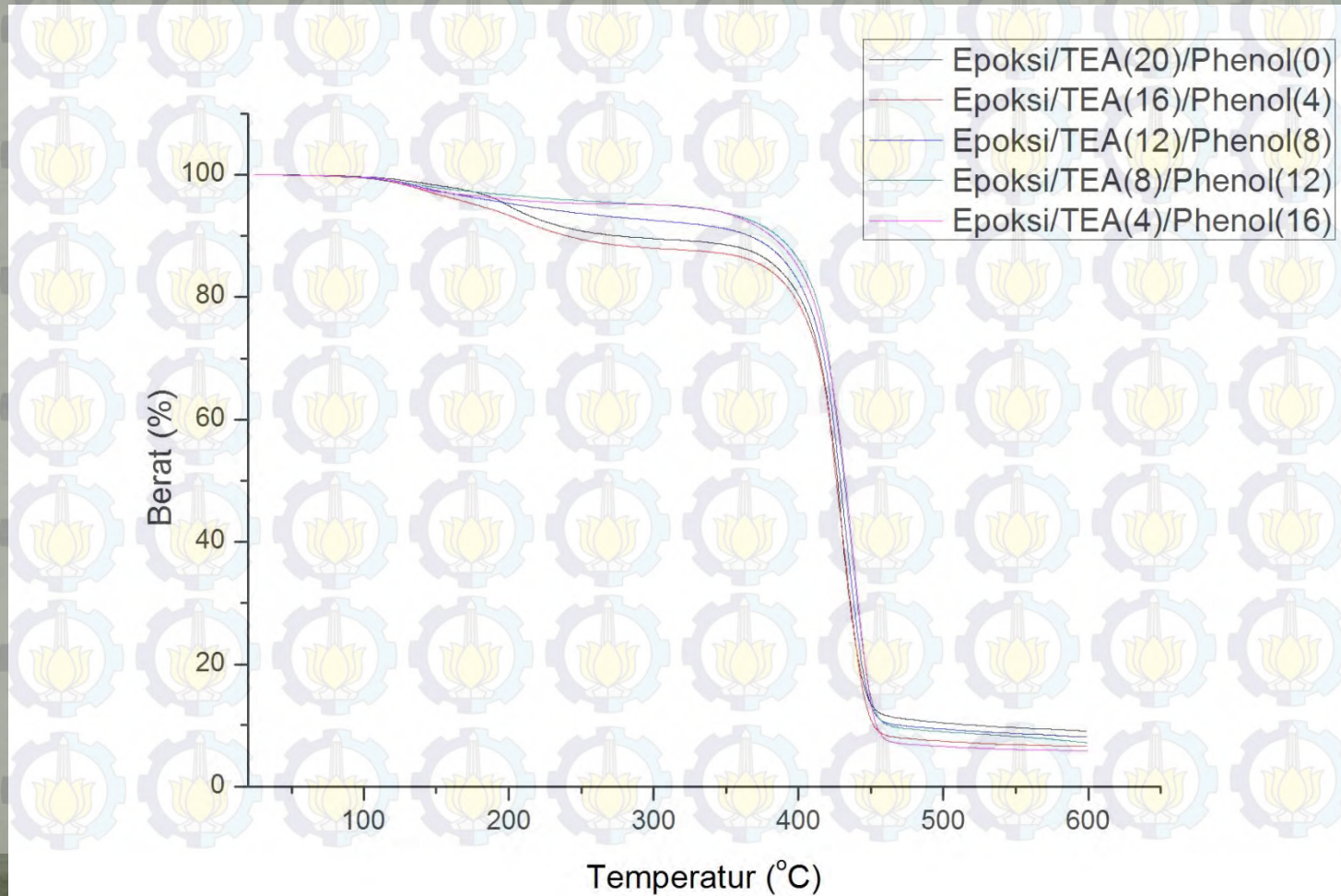
- Hasil pengujian TGA :

| No | Kode Sampel | $T_{5\%}$ (°C) | $T_{10\%}$ (°C) | T_{id} (°C) | T_{pd} (°C) | R (%) |
|----|---------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|----------|
| 1 | DGEBA/TEA(20)/Ph(0) | 199,3 | 275,3 | 418,5 | 429,5 | 9,41 |
| 2 | DGEBA/TEA(16)/Ph(4) | 178,6 | 240,1 | 411,2 | 425,5 | 6,61 |
| 3 | DGEBA/TEA(12)/Ph(8) | 208,4 | 366,1 | 415,2 | 429,7 | 8,48 |
| 4 | DGEBA/TEA(8)/Ph(12) | 307,4 | 385,7 | 404,3 | 436,5 | 8,47 |
| 5 | DGEBA/TEA(4)/Ph(16) | 311,3 | 381,0 | 404,5 | 438,4 | 5,83 |
| 6 | DGEBA/TEA(0)/Ph(20) | - | - | - | - | - |

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

7. Analisis Pengujian TGA (*Thermogravimetry Analysis*)

- Hasil pengujian TGA :



ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

7. Analisis Pengujian TGA (*Thermogravimetry Analysis*)

- $T < 200^{\circ}\text{C}$: Penurunan berat minor, disebabkan penguapan air, zat volatil, *cross-linking byproduct* dan oligomer yang tidak bereaksi (Zhang, et al., 2012), (Liu, et al., 2014), (Shokralla, et al., 2009).
- $T = \pm 300^{\circ}\text{C}$: Proses awal dekomposisi, jaringan polimer masih cenderung stabil, mengalami sedikit penurunan berat (Zhang, et al., 2012), (Shokralla, et al., 2009).
- $T > 400^{\circ}\text{C}$: Penurunan berat signifikan (>80%) disebabkan proses dekomposisi material (hancurnya jaringan polimer) dan karbonisasi, menghasilkan residu kurang dari 10% berat awal pada akhir proses (Liu, et al., 2014), (Zhang, et al., 2012).

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

7. Analisis Pengujian TGA (*Thermogravimetry Analysis*)

- Perbandingan stabilitas termal DGEBA/TEA(4)/Ph(16) dan epoksi dari penelitian sebelumnya.

| No | Kode Sampel | T _{5%} (°C) | T _{10%} (°C) | T _{pd} (°C) | R (%) |
|----|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------|
| 1 | DGEBA/TEA(4)/Ph(16) | 311,3 | 381,0 | 438,4 | 5,83 |
| 2 | DGEBA/PAA(20) | 351,3 | 361,5 | 370 | 6,16 |

* Resin epoksi DGEBA, *hardener* poli(amino amid) (PAA), T_{curing} : RTP (Liemawan, 2014), (Ramaputra, 2014)

- Secara umum DGEBA/TEA(4)/Ph(16) memiliki stabilitas termal lebih baik dari epoksi pembanding, khususnya pada temperatur tinggi.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan
2. Saran

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

1. Penambahan persentase *phenol* dalam komposisi *curing agent* meningkatkan kekuatan tarik dan elongasi epoksi hingga mencapai titik maksimum pada DGEBA/TEA(12)/Ph(8), yaitu sebesar 70,71 MPa dan 4,07 %.
2. Penambahan persentase *phenol* dalam komposisi *curing agent* menurunkan kekuatan *adhesive* epoksi. Kekuatan geser maksimum diperoleh pada DGEBA/TEA(20)/Ph(0), yaitu sebesar 13,14 MPa.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

3. Penambahan persentase *phenol* dalam komposisi *curing agent* meningkatkan ketahanan serapan air epoksi hingga mencapai titik minimum pada DGEBA/TEA(4)/Ph(16), yaitu sebesar 2,08%.
4. Penambahan persentase *phenol* dalam komposisi *curing agent* meningkatkan stabilitas termal epoksi hingga mencapai titik maksimum pada DGEBA/TEA(4)/Ph(16). Epoksi terdegradasi sebanyak 5% pada temperatur 311,3°C, terdegradasi sebanyak 10% pada temperatur 381,0°C dan terdekomposisi pada temperatur 438,4°C.

KESIMPULAN DAN SARAN

2. Saran

1. Epoksi DGEBA/TEA/Ph cocok digunakan untuk aplikasi *adhesive* yang memerlukan kekuatan tinggi dan bertemperatur kerja tinggi, serta tampilan yang baik.
2. Permukaan substrat objek *adhesive* sebaiknya dikasarkankan terlebih dahulu sebelum aplikasi DGEBA/TEA/Ph untuk meningkatkan *mechanical bonding adhesive*.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan mengadakan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan sifat mekanik dan termal epoksi DGEBA/TEA/Ph pada temperatur *curing* yang lebih rendah dan dengan waktu tahan yang lebih singkat.



TERIMA KASIH