

TUGAS AKHIR - TM184835

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN *EPOXY* RESIN PADA
ELEKTROLIT PADAT BERBASIS POLIMER TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN PERUBAHAN MIKROSTRUKTURNYA**

HABIB SAIFUDDIN FATHONI

NRP 02111840000092

Dosen Pembimbing

Putu Suwarta S.T., M.Sc., Ph.D

NIP. 198203032009121007

Program Studi Sarjana

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



TUGAS AKHIR - TM 184835

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN *EPOXY* RESIN PADA
ELEKTROLIT PADAT BERBASIS POLIMER TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN PERUBAHAN MIKROSTRUKTURNYA**

**HABIB SAIFUDDIN FATHONI
NRP 0211184000092**

Dosen Pembimbing

**Putu Suwarta S.T., M.Sc., Ph.D
NIP. 198203032009121007**

Program Studi Sarjana

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - TM184835

**STUDY OF THE EFFECT OF *EPOXY* RESIN ADDITION ON
SOLID POLYMER ELECTROLYTE ON MECHANICAL
PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE CHANGES**

**HABIB SAIFUDDIN FATHONI
NRP 0211184000092**

Advisor

**Putu Suwarta S.T., M.Sc., Ph.D
NIP. 198203032009121007**

Undergraduate Study Program

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PENGARUH PENAMBAHAN *EPOXY RESIN* PADA ELEKTROLIT PADAT BERBASIS POLIMER TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN PERUBAHAN MIKROSTRUKTURNYA

TUGAS AKHIR

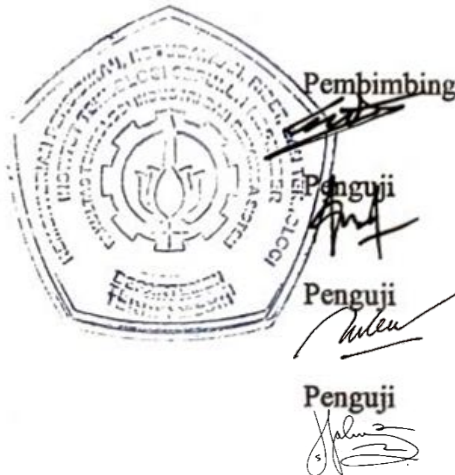
Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana pada
Program Studi S-1
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **HABIB SAIFUDDIN FATHONI**

NRP. 0211184000092

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Putu Suwarta, S.T. M.Sc. Ph.D
NIP. 198203032009121007
2. Ika Dewi Wijayanti, S.T. M.Sc. Ph.D
NIP. 198512022014042002
3. H.C. Kis Agustin, Ir. DEA. Dr
NIP. 196308151989032001
4. Fahmi Mubarak, S.T. M.Sc. Ph.D
NIP. 197801152003121002



SURABAYA

Juli, 2022

Halaman sengaja dikosongkan

APPROVAL SHEET

STUDY OF THE EFFECT OF EPOXY RESIN ADDITION ON SOLID POLYMER ELECTROLYTE ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE CHANGES

FINAL PROJECT

Submitted to fulfil one of the requirements
for obtaining a Bachelor degree at
Undergraduate Study Program
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **HABIB SAIFUDDIN FATHONI**

NRP. 0211184000092

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Putu Suwarta, S.T. M.Sc. Ph.D
NIP. 198203032009121007
2. Ika Dewi Wijayanti, S.T. M.Sc. Ph.D
NIP. 198512022014042002
3. H.C. Kis Agustin, Ir. DEA. Dr
NIP. 196308151989032001
4. Fahmi Mubarok, S.T. M.Sc. Ph.D
NIP. 197801152003121002



Advisor

Examiner

Examiner

Examiner

SURABAYA

July, 2022

Halaman sengaja dikosongkan

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Habib Saifuddin Fathoni / 0211184000092

Departemen : Teknik Mesin

Dosen Pembimbing / NIP : Putu Suwarta, S.T. M.Sc. Ph.D / 198203032009121007

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Studi Pengaruh Penambahan *Epoxy Resin* pada Elektrolit Padat berbasis Polimer terhadap Sifat Mekanik dan Perubahan Mikrostrukturnya” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 5 Juli 2022

Mengetahui

Dosen Pembimbing



(Putu Suwarta, S.T. M.Sc. Ph.D)

NIP. 198203032009121007

Mahasiswa



(Habib Saifuddin Fathoni)

NRP. 0211184000092

Halaman sengaja dikosongkan

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Habib Saifuddin Fathoni / 0211184000092
Department : Mechanical Engineering
Advisor / NIP : Putu Suwarta, S.T. M.Sc. Ph.D / 198203032009121007

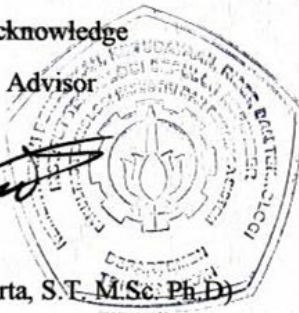

hereby declare that the Final Project with the title of “Study of the Effect of Epoxy Resin Addition on Solid Polymer Electrolyte on Mechanical Properties and Microstructure Changes” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 5 July 2022

Acknowledge

Advisor



(Putu Suwarta, S.T. M.Sc. Ph.D)

NIP. 198203032009121007

Student



(Habib Saifuddin Fathoni)

NRP. 02111840000092

Halaman sengaja dikosongkan

STUDI PENGARUH PENAMBAHAN *EPOXY RESIN* PADA ELEKTROLIT PADAT BERBASIS POLIMER TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN PERUBAHAN MIKROSTRUKTURNYA

Nama Mahasiswa / NRP : Habib Saifuddin Fathoni / 0211184000092
Departemen : Teknik Mesin FTIRS - ITS
Dosen Pembimbing : Putu Suwarta, S.T. M.Sc. Ph.D.

Abstrak

Solusi keterbatasan jarak tempuh kendaraan listrik dengan penambahan jumlah sel baterai konvensional tidaklah efisien karena akan menambah massa kendaraan dengan tambahan jarak tempuh yang pendek, maka penggunaan baterai komposit dengan elektrolit padat sebagai matriksnya yang memiliki fungsi sekunder sebagai penopang beban atau sebagai kerangka dari kendaraan adalah salah satu solusi permasalahan ini. Namun elektrolit polimer padat yang digunakan sebagai elektrolit masih memiliki properti mekanik yang relatif lemah yakni sekitar 0,35 MPa (Fan et al., 2003), salah satu cara yang dapat dilakukan untuk memperkuat adalah dengan menambah material *epoxy*, material ini merupakan polimer yang biasa digunakan sebagai matriks pada komposit.

Pada penelitian ini SPE ber-*host* polimer Polyethylene Oxide (PEO), garam ionik Lithium Perchlorate (LiClO_4) yang keduanya dilarutkan dengan *Acetonitrile*, akan ditambahkan dengan *epoxy resin* berjenis *Bisphenol-A* dengan *hardener modified Cycloaliphatic Amine* dimana variasi presentasi berat *epoxy resin* adalah 3%, 5% dan 7% wt dengan SPE murni sebagai acuannya. Karakterisasi sifat mekanik material SPE menggunakan metode pengujian tarik berdasarkan standar ASTM D638, perubahan properti kristal material akan dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD), morfologi permukaan material dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan untuk mengamati fenomena kimia yang terjadi.

Penambahan *epoxy* pada SPE meningkatkan properti mekanik di setiap kenaikan konsentrasi *epoxy*, dengan hasil tertinggi pada spesimen SPE+7% Epoxy (*yield strength* 0,434 MPa). Pola deformasi spesimen sama dengan laju deformasi material polimer pada umumnya dengan ciri khas pemanjangan rantai polimer setelah terjadinya *yield point*. Fenomena peningkatan properti mekanik tersebut dapat terjadi karena morfologi spesimen semakin halus dan tidak ditemukan cacat yang dapat menimbulkan *initial crack* (SEM). Hasil FTIR juga menunjukkan adanya rantai polimer baru (LiClO_4 :PEO:Epoxy) yang meningkatkan kekompakan rantai polimer yang sudah ada. XRD menunjukkan penurunan puncak grafik secara drastis antara spesimen murni dan dengan epoxy, sedangkan sudut orientasi kristal tidak mengalami perubahan yang signifikan ($2\theta = 19,0^\circ$ - $22,0^\circ$). Diharapkan pengembangan metodologi dan variasi garam ionik dapat meningkatkan hasil dari penelitian kedepannya.

Kata kunci: *Epoxy*, Elektrolit padat polimer, Properti mekanik.

Halaman sengaja dikosongkan

STUDY OF THE EFFECT OF EPOXY RESIN ADDITION ON SOLID POLYMER ELECTROLYTE ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE CHANGES

Student Name / NRP : **Habib Saifuddin Fathoni / 0211184000092**
Department : **Teknik Mesin FTIRS - ITS**
Advisor : **Putu Suwarta, S.T. M.Sc. Ph.D.**

Abstract

The solution to the limited mileage of electric vehicles by increasing the number of conventional battery cells is not efficient because it will increase the mass of the vehicle with an additional short distance, so the use of a composite battery with solid electrolyte as its matrix which has a secondary function as load support or as a framework for the vehicle is one of the solutions to this problem. However, the solid polymer electrolyte used as an electrolyte still has a relatively weak mechanical property, which is around 0.35 MPa (Fan et al., 2003), a solution that can be done to strengthen it is to add epoxy material, this material is an ordinary polymer. used as a matrix in the composite.

In this study, SPE hosted Polyethylene Oxide (PEO) polymer, Lithium Perchlorate (LiClO_4) ionic salt, both of which were dissolved in Acetonitrile, were added with Bisphenol-A epoxy resin with modified Cycloaliphatic Amine as hardener where the percentage variation of the epoxy resin weight was 3%, 5% and 7% wt with pure SPE as reference. Characterization of the mechanical properties of the SPE material using a tensile test method based on the ASTM D638 standard, changes in the crystal property of the material will be characterized by X-Ray Diffraction (XRD), the surface morphology of the material using a Scanning Electron Microscope (SEM) and Fourier Transform Infrared (FTIR) to observe the chemistry phenomenon that occurs.

The addition of epoxy to SPE increased the mechanical properties at each increase in epoxy concentration, with the highest yield being SPE+7% Epoxy specimens (yield strength 0.434 MPa). The deformation pattern of the specimen is the same as the rate of deformation of polymeric materials in general with the characteristic elongation of the polymer chain after the yield point occurs. The phenomenon of increasing mechanical properties can occur because the morphology of the specimen is getting smoother, and no defects are found that can cause an initial crack (SEM). The FTIR results also indicated the presence of a new polymer chain (LiClO_4 :PEO:Epoxy) which increased the cohesiveness of the existing polymer chains. XRD showed a drastic decrease in the peak graph between pure and epoxy specimens, while the crystal orientation angle did not change significantly ($2\theta = 19.0^\circ$ - 22.0°). It is hoped that the development of methodologies and variations of ionic salts can improve the results of future research.

Keywords: Epoxy, Mechanical property, Solid polymer electrolyte.

Halaman sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta anugerah-Nya dan diberikan kesehatan, kemudahan dan kelancaran sehingga dapat terselesaikannya Tugas Akhir dengan judul Studi Pengaruh Penambahan *Epoxy* Resin Pada Elektrolit Padat Berbasis Polimer Terhadap Sifat Mekanik Dan Perubahan Mikrostrukturnya, dengan variasi terlampir. Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat kelulusan pada program studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pelaksanaan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik karena penulis mendapat bantuan dan motivasi yang kuat dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya yang diberikan kepada penulis.
2. Orang tua penulis atas segala doa, dukungan, kasih sayang, semangat, dan bantuan yang tak dapat disebutkan satu persatu pada pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Putu Suwarta, S.T. M.Sc. Ph.D., Bapak Ahmad Subhan S.T., M.T., dan Ibu Yatim Lailun Nimah S.Si., M.Si., Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah mencurahkan ilmu, waktu, tenaga, bimbingan, serta arahan pada pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Ika Dewi Wijayanti, S.T., M.Sc., Ph.D., Ibu H.C. Kis Agustin, Ir. DEA. Dr, Bapak Fahmi Mubarak, S.T., M.Sc., Ph.D. dan Bapak Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji seminar proposal dan sidang Tugas Akhir yang telah memberikan ilmu, saran, dan masukan yang bermanfaat.
5. Bapak Dr. Eng. Yohanes, S.T. M.Sc. selaku dosen wali penulis yang telah memberikan masukan, bantuan, dan dukungan selama penulis berkuliah di ITS.
6. Segenap Bapak/Ibu Dosen pengajar maupun tenaga pendidik, dan karyawan di Departemen Teknik Mesin.
7. Teman riset *Structural Battery*, Bagus dan Daffa serta Lab. Metalurgi yang telah berbagi fasilitas, ilmu, rumah, motivasi, kontribusi dan kenangan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Teman Lab. Kompok dan LBMM, Aldi, Dees, Fadhil, Fajar, Bustomi, Alza, Dasa, Ahong, William, Dito, Reves, Pewe, Ichwan, Yunda, Ade, Risang, Nadiah, Ncis, Gagek, Ekik, serta lainnya yang tidak dapat disebutkan karena telah berbagi kisah suka dan duka bersama penulis di kampus.
9. Sahabat penulis, Hesty, Nola, Aliyah, Najya, Tiya, serta sahabat dan teman lainnya yang tidak dapat disebutkan karena telah menemani penulis dalam menyelesaikan skripsi dan berbagi kisah suka dan duka bersama penulis.
10. Seluruh teman-teman MSIB baik sub divisi, divisi utama, dan teman-teman lain yang penulis tidak bisa sebutkan, yang telah memberikan kelonggaran waktu dalam pelaksanaan Tugas Akhir yang berbarengan dengan kegiatan magang penulis.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan akhir magang ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan dalam penulisan ini agar bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juli 2022

Penulis

Halaman sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
APPROVAL SHEET.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
STATEMENT OF ORIGINALITY	vi
Abstrak	ix
Abstract.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR, GRAFIK, DIAGRAM.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	xx
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Material Polimer dan Properti Mekaniknya.....	8
2.3 <i>Solid Polymer Electrolyte</i> (PEO, LiClO ₄ dan <i>Acetonitrile</i>).....	10
2.4 <i>Epoxy</i> Resin dan <i>Epoxy Hardener</i>	10
2.5 Metode Pengujian dan Karakterisasi	11
2.5.1 <i>Tensile test</i> ASTM D638	11
2.5.2 Karakterisasi SEM.....	13
2.5.3 Karakterisasi XRD.....	14
2.5.4 Karakterisasi FTIR	15
2.6 Kontribusi Penelitian	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Flowchart Penelitian	19
3.2 Alat.....	21
3.3 Bahan	22
3.4 Langkah Penelitian	22
3.4.1 Studi Literatur.....	22
3.4.2 Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian.....	23

3.4.3	Pembuatan <i>epoxy based solid polymer electrolyte</i>	23
3.4.4	Pengujian tarik/ <i>tensile</i> ASTM D638.....	25
3.4.5	Karakterisasi spesimen menggunakan <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i> .	27
3.4.6	Karakterisasi spesimen menggunakan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	28
3.4.7	Karakterisasi spesimen menggunakan <i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i>	28
3.5	Alokasi Waktu Pengerjaan Penelitian	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		30
4.1	Sintesis SPE+Epoxy berbasis <i>Lithium Perchlorate</i> dan <i>Poly(ethylene oxide)</i>	31
4.2	Pengujian <i>Tensile</i> ASTM D638	32
4.2.1	Analisa <i>Yield Strength</i> Material	34
4.2.2	Analisa <i>Young Modulus</i> Material.....	36
4.2.3	Analisa <i>Toughness</i> Material.....	37
4.3	Karakterisasi spesimen menggunakan <i>Scanning Electron Microscope</i>	40
4.4	Karakterisasi spesimen menggunakan <i>X-Ray Diffraction(XRD)</i>	41
4.5	Karakterisasi spesimen menggunakan <i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i>	44
4.6	Analisa reaksi keseluruhan	47
4.7	Analisa Hasil	49
BAB V KESIMPULAN.....		51
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran.....	51
Daftar Pustaka		53
LAMPIRAN.....		56
BIODATA PENULIS		71

DAFTAR GAMBAR, GRAFIK, DIAGRAM

Gambar 1.1 Target Pemerintah Mengurangi Penggunaan Kendaraan Berbahan Bakar Fosil (Sandra Wappelhorst, 2021).	1
Gambar 2.1 Hasil SEM Spesimen BADGE/TetradX/TEPA dan EMImTFSI Film, (a) 34 wt %, (b) 40 wt % , (c) 45 wt % , dan (d) 50 wt % (Kozo Matsumoto, 2008).	6
Gambar 2.2 Hasil SEM dari Spesimen (a)-(b) 0 wt% epoxy, (c)-(d) 15 wt% epoxy, (e)-(f) 30 wt% epoxy, dan (g)-(h) 100 wt% epoxy. Rasio PVDF dan LiTf 25:75. (Wang, Qiao, Zhang, & Zhou, 2019)	7
Gambar 2.3 Diagram Hasil FTIR dari PVDF/LiTf Polymer Electrolyte, PVDF/LiTf Polymer Electrolyte dengan 0% wt Epoxy, 30 wt% Epoxy, dan Epoxy Murni, Rasio Massa PVDF dan LiTf Adalah 25:75 (Wang, Qiao, Zhang, & Zhou, 2019)	7
Gambar 2.5 Grafik Stress-Strain Tipikal Material Polimer (“Polymers for Aerospace Structures,” 2012).....	9
Gambar 2.6 Spesimen Uji Tarik ASTM D638 (ASTM, 2017).	11
Gambar 2.7 Diagram Skema Alat Scanning Electron Microscope dan Pemancar Elektron Didalamnya (JEOL).....	13
Gambar 2.8 Diagram Cara Kerja Mesin X-Ray Diffraction(Roy, 2018)	14
Gambar 2.9 Grafik XRD (a) LiClO ₄ , (b) PEO Murni, (c) PVA Murni, dan (d) Lapisan SPE (Jinisha et al., 2018).....	14
Gambar 2.10 Diagram Cara Kerja FTIR(Smith, 2011)	15
Gambar 2.11 Grafik FTIR (a) LiClO ₄ , (b) PEO Murni, (c) PVA Murni, dan (d) Lapisan SPE(Jinisha et al., 2018).....	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pengerjaan Penelitian.....	21
Gambar 3.2 Peralatan yang Digunakan Dalam Pembuatan SPE dengan Tambahan Epoxy Resin(Keterangan Angka Pada Gambar).....	21
Gambar 3.3 Bahan yang Digunakan dalam Pembuatan SPE dengan Tambahan Epoxy Resin(Keterangan Angka pada Gambar).....	22
Gambar 3.4 Dimensi Spesimen ASTM D638 Type V (Materials et al., 2006).....	26
Gambar 3.5 MTS Exceed® E43.104 10kN Electromechanical UTS (MTS Exceed Series 40 Electromechanical Universal Test Systems, n.d.)	26
Gambar 3.6 Spesifikasi Teknis dari Mesin Uji Tarik MTS Exceed® E43.104 10kn Electromechanical UTS (MTS Exceed Series 40 Electromechanical Universal Test Systems, N.D.)	27
Gambar 3.7 Mesin Scanning Electron Microscope(SEM) Hitachi FlexSEM1000 (Hiroyuki Komuro, 2017).	28
Gambar 3.8 Mesin X-Ray Diffraction X'pert PRO PANalytical (University of California, n.d.).....	28
Gambar 3.9Mesin FTIR Nicolet iS10 Spectrometer (Stone, n.d.)	29
Gambar 4.1 Spesimen Solid Polymer Electrolyte + Epoxy Hasil Produksi, (A) SPE+0% Epoxy (B) SPE+3% Epoxy, (C) SPE+5% Epoxy, dan (D) SPE+7% Epoxy.....	31
Gambar 4.2 Grafik Skema Stress vs Strain Hasil Pengujian ke Empat Variasi Spesimen.....	32
Gambar 4.3 Dokumentasi Uji Tarik Spesimen SPE+7% Epoxy.	33
Gambar 4.4 Skema Deformasi Plastis Dari Polimer Semi Kristalin (Haile, 2008).....	33
Gambar 4.5 Proses Pengambilan Nilai Tertinggi Data Grafik Stress-Strain Spesimen.	35
Gambar 4.6 Prosedur Pengambilan Nilai Modulus Elasticity Dari Grafik Hasil Pengujian Menggunakan Bantuan Fungsi Linear Fitting Pada Software OriginPro2018.....	36
Gambar 4.7 Prosedur Pengambilan Nilai Toughness dari Grafik Hasil Pengujian Menggunakan Bantuan Fungsi Peak Analyzer Pada Software OriginPro2018.....	38

Gambar 4.8 Hasil SEM dari Spesimen Menunjukkan Fenomena Perubahan Morfologi Permukaan.....	40
Gambar 4.9 Spektra XRD dari Spesimen Beserta Peak yang Ditemukan.....	42
Gambar 4.10 Perbandingan Peak Grafik yang Telah Dilakukan Smoothing.	42
Gambar 4.11 Analisa spektrum FTIR dengan bantuan <i>software</i> Match.....	45
Gambar 4.12 Spektra FTIR dari Spesimen dengan Warna Garis Masing Masing.	45
Gambar 4.13 Spektra FTIR dari prekursor pendiri produk SPE+ <i>epoxy</i>	46
Gambar 4.14 Gambar skematik perubahan rantai polimer PEO sebelum dan sesudah bereaksi dengan resin dan <i>hardener</i> (Hamerton et al., 2014).	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Young's Moduli dari Lapisan BADGE/TetradX/TEPA dan EMI/TFSI (Kozo Matsumoto, 2008).....	5
Tabel 2. 2 Tabel Perbandingan Jenis Polymer yang Dapat Ditemui pada Kehidupan Sehari-hari ("Polymers for Aerospace Structures," 2012).....	8
Tabel 3. 1 Skema Pembuatan Spesimen SPE+Epoxy yang Dilakukan di Puspitek Fisika BRIN Serpong.....	23
Tabel 3. 2 Timeline Pengerjaan Penelitian.....	29
Tabel 4.1 Tabel nilai yield strength hasil uji tarik spesimen 4 variasi sesuai standar ASTM D638.....	35
Tabel 4.2 Tabel nilai Modulus Elasticity hasil uji tarik spesimen 4 variasi sesuai standar ASTM D638.....	36
Tabel 4.3 Tabel Nilai Toughness Hasil Uji Tarik Spesimen 4 Variasi.	38
Tabel 4. 4 Ukuran Kristal berdasarkan puncak terdeteksi yang dihitung dengan rumus Scherrer.	43
Tabel 4.5 Tabel perbandingan perlakuan prosedur terhadap reaksi yang terjadi.	47

Halaman sengaja dikosongkan

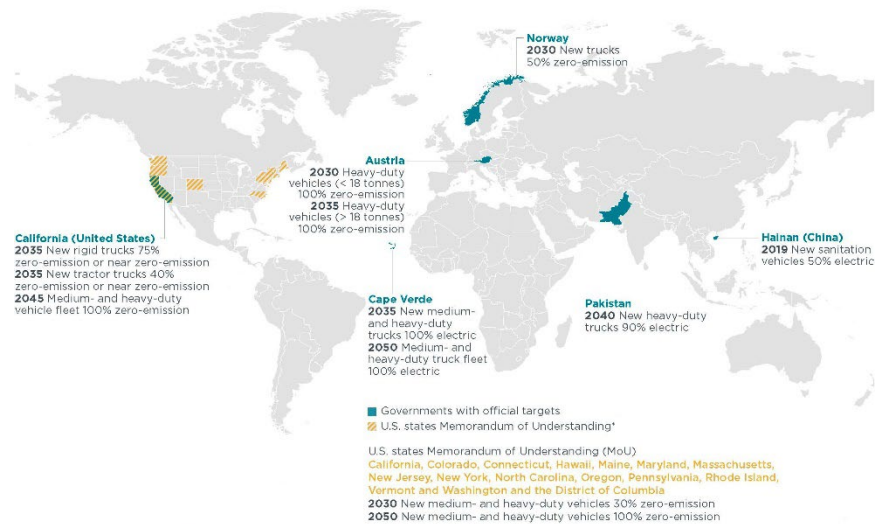
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan dilatarbelakangi oleh isu-isu lingkungan serta *energy sustainability*, mulai banyak penemuan-penemuan baru yang berpotensi sebagai solusi dari permasalahan tersebut. EV (Electric vehicle) atau kendaraan listrik adalah salah satu solusi paling menjanjikan, bahkan beberapa negara mulai menerbitkan kebijakan menyangkut kendaraan ini, seperti Perancis akan menghentikan penjualan kendaraan berbahan bakar bensin atau solar pada tahun 2040, diikuti dengan United Kingdom, hingga Norwegia yang memiliki target penjualan 100% mobil listrik pada tahun 2025 (Rui Xiong, 2019). *Electric vehicle* dapat bergerak dengan adanya tenaga dari baterai yang menggerakkan motor, oleh karena itu jarak tempuh suatu *EV* pun sangat dipengaruhi oleh kapasitas baterai, namun baterai *EV* saat ini memiliki bobot yang sangat berat, sehingga menjadi perhatian utama para peneliti. Sebuah mobil *EV* memiliki *curb weight* atau berat keseluruhan dari kendaraan dalam keadaan baterai terisi adalah sekitar 2660 kg, dengan berat baterai sendiri 699 kg (Sebastian Gramstat, 2019). Beragam penelitian telah dilakukan oleh ilmuwan atau pun RnD perusahaan, hingga ada penemuan terbaru berupa *massless energy storage* oleh Leif Asp et al., pada tahun 2021.

Governments with targets toward phasing out sales of internal combustion engine trucks by a certain date (Status: August 2021)



*Note: Governments with an at least 40% new truck sales target.

* Not necessarily yet reflected in an official national/state policy document such as a climate or transport strategy/plan, in a law, or in a similar framework.

Gambar 1. 1 Target Pemerintah Mengurangi Penggunaan Kendaraan Berbahan Bakar Fosil (Sandra Wappelhorst, 2021).

Massless energy storage merupakan salah satu terobosan teknologi penyimpanan energi di masa depan yang memiliki potensi besar. Salah satu contoh teknologi penyimpanan energi *massless* yang sudah ada saat ini adalah *structural battery composite*, dengan mengubah komponen struktural menjadi perangkat penyimpanan energi yang menghemat ruang dan massa untuk bobot keseluruhan (Yuchen Wang, 2019). Sebuah baterai komposit terdiri dari reinforcement dan matrix seperti halnya material komposit pada umumnya, adapun matriks dari baterai komposit juga merupakan elektrolit dari baterai tersebut. Dari sekian banyak jenis elektrolit, *solid polymer electrolyte* (SPE) adalah elektrolit yang banyak digunakan pada *structural composite battery* karena memiliki fungsi sekunder sebagai penguat struktur dari baterai, namun hingga saat ini properti mekanik (*Young's modulus*) untuk SPE tergolong lemah yakni sekitar 0.35 MPa (Fan et al., 2003) dan menjadi penyebab rendahnya properti mekanik

dari *structural battery composite*. Beberapa penelitian telah dilakukan dengan tujuan meningkatkan properti mekanik SPE, seperti menambahkan *epoxy resin hardener* bisphenol A diglycidyl ether (BADGE), TETRAD-X dan tetraethylenepentamine (TEPA) pada cairan ion 1-ethyl-3-methylimidazolium bis (trifluoro methane-sulfonyl) imide (EMImTFSI), pada penelitian ini didapatkan *Young's modulus* terbesar senilai 690 MPa pada 34 %wt EMImTFSI, dengan permukaan *homogeneous* saat dilakukan pengamatan SEM (Kozo Matsumoto, 2008). Lalu terdapat juga penelitian berjudul "*Development of structural supercapacitors with epoxy based adhesive polymer electrolyte*" yang membahas efek penambahan *epoxy* pada SPE berjenis PVDF/ LiTf. Tujuan dari penelitian ini adalah meningkatkan properti mekanik dari SPE yang akan digunakan untuk meningkatkan properti mekanik dari *structural super capacitor*. Penelitian ini menghasilkan spesimen uji tarik (*ultimate tension strength*) terlemah senilai 55MPa pada spesimen dengan ratio volume/berat fraksi sebesar 25:75 PVDF:LiTf pada 15 %wt *epoxy* dan nilai kekuatan tarik maksimum terkuat senilai 136MPa pada spesimen dengan ratio volume/berat fraksi sebesar 50:50 PVDF:LiTf pada 0 %wt *epoxy* (Yuchen Wang, 2019).

Dari kedua penelitian di atas memiliki kesamaan yaitu membahas mengenai efek penambahan *epoxy* pada elektrolit solid polimer dengan jenis garam lithium yang berbeda. Dilihat dari jenis material yang digunakan, masih ada kekosongan penelitian pada SPE yang menggunakan kombinasi paduan garam lithium berjenis LiClO₄ beserta *epoxy* dan PEO, oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian untuk menguji pengaruh penambahan *epoxy* terhadap properti mekanik *Solid Polymer Electrolyte*: PEO + LiClO₄ serta dilakukan pengamatan perubahan struktur dan perubahan mekanik material tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat dituliskan berdasarkan permasalahan yang terjadi pada sifat mekanik dan mikrostruktur SPE adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan *epoxy* pada *solid polymer electrolyte* terhadap sifat mekanik material yang terkait *tensile properties*?
2. Bagaimana karakter morfologi permukaan material SPE+*Epoxy*?
3. Bagaimana perubahan karakter struktur kristalinitas material SPE+*Epoxy*?
4. Bagaimana cara mengetahui gugus fungsi material prekursor, produk, reaksi material?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini akan menggunakan metode eksperimen berupa pengujian mekanik serta pengamatan struktur dan unsur pembentuk SPE. Agar penelitian ini dapat berfokus pada hasil yang diinginkan, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Perubahan temperatur dan kelembaban ruangan diasumsikan tidak mempengaruhi hasil produksi.
2. Semua material dianggap sesuai dengan *data sheet* yang tercantum setiap pembeliannya.
3. Pengambilan data penimbangan tiap komponen material dilakukan sepresisi dan seakurat mungkin dengan deviasi tidak lebih dari angka ke tiga di belakang tanda koma “,”.
4. Diasumsikan tidak ada kontaminasi yang terjadi pada spesimen karena telah dilapisi dengan lapisan plastik *polyethylene*.

5. Dimensi spesimen disesuaikan dengan jenis pengujian dan karakterisasinya, uji mekanik dilakukan dengan mengikuti standar ASTM D638.
6. Adapun untuk karakterisasi FTIR, XRD serta SEM menggunakan spesimen berdimensi spesifik menyesuaikan alat karakterisasi.

1.4 Tujuan

Penelitian mengenai pengaruh penambahan *epoxy* pada *solid polymer electrolyte* atau elektrolit padat berbasis polimer ini adalah bertujuan untuk:

1. Untuk mengidentifikasi dan membandingkan pengaruh penambahan *epoxy* pada *solid polymer electrolyte* terhadap sifat mekanik material yang terkait *tensile properties*.
2. Untuk mengidentifikasi karakter morfologi permukaan material.
3. Untuk mengidentifikasi perubahan karakter struktur kristalinitas material.
4. Untuk mengidentifikasi material prekursor, produk, reaksi material.

1.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang diperoleh dari diadakannya penelitian mengenai *solid polymer electrolyte* adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan hasil penelitian yang dapat dipertanggungjawabkan.
2. Menghasilkan penjelasan mengenai perbedaan karakteristik material yang diteliti terutama pada sifat kristalinitas serta kandungan material.
3. Menghasilkan metode produksi yang dapat digunakan untuk penelitian dan produksi SPE selanjutnya.
4. Memberikan sudut pandang baru terhadap jenis material yang digunakan untuk produksi *solid polymer electrolyte* dengan material tambahan *epoxy*.
5. Sebagai acuan untuk produksi SPE yang menggunakan paduan *epoxy* pada *structural battery composite*.
6. Menyumbangkan referensi sebagai acuan penelitian lebih lanjut mengenai *solid polymer electrolyte*.

Halaman sengaja dikosongkan

BAB II DASAR TEORI

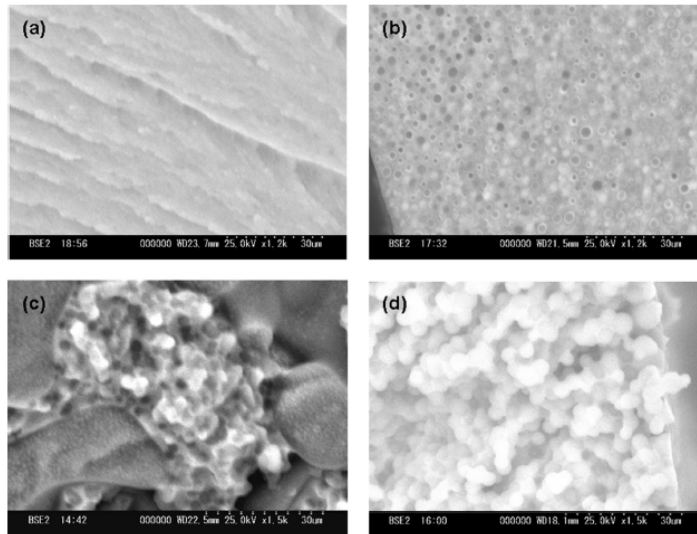
2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian tentang elektrolit polimer solid telah dilakukan, seperti (Kozo Matsumoto, 2008) meneliti tentang efek penambahan *epoxy resin hardener* bisphenol A diglycidyl ether (BADGE), TETRAD-X dan tetraethylenepentamine (TEPA) pada cairan ion 1-ethyl-3-methylimidazolium bis (trifluoro methane-sulfonyl) imide (EMImTFSI), dengan tujuan untuk meningkatkan ikatan ion, konduktivitas ion, serta properti mekanik material, semua parameter diatas dapat dicapai karena *epoxy resin* memiliki sifat material dengan jenis ikatan *thermoset* yang memiliki kestabilan pada temperatur tinggi, properti ikatan yang kuat, serta daya rekat yang baik. Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan mencampurkan *epoxy resin, hardener* dengan cairan ion menggunakan pengaduk magnet dengan lama pengadukan menyesuaikan kondisi homogenitas campuran, setelah itu campuran dituangkan pada cetakan PTFE dan di-*curing* pada temperatur 70°C selama 5 jam dan dilanjutkan pada temperatur 130°C selama 10 jam, setelah mengering spesimen diangkat dari cetakan kemudian diamati dengan IR *spectra*, SEM, DSC, *Thermogravimetry*, uji konduktivitas, serta uji tarik.

Tabel 2.1 Young's Moduli dari Lapisan BADGE/TetradX/TEPA dan EMImTFSI (Kozo Matsumoto, 2008)

sample	EMImTFSI content (%)	Young's modulus (MPa)
BADGE/Tetrad-X/TEPA/(34 wt %)EMImTFSI (run 26)	34	690
BADGE/Tetrad-X/TEPA/(40 wt %)EMImTFSI (run 28)	40	650
BADGE/Tetrad-X/TEPA/(43 wt %)EMImTFSI (run 29)	43	480
BADGE/Tetrad-X/TEPA/45 wt %EMImTFSI (run 30)	45	390
BADGE/Tetrad-X/TEPA/(47 wt %)EMImTFSI (run 31)	47	240
BADGE/Tetrad-X/TEPA/(50 wt %)EMImTFSI (run 32)	50	45
BADGE/Tetrad-X/TEPA	0	800

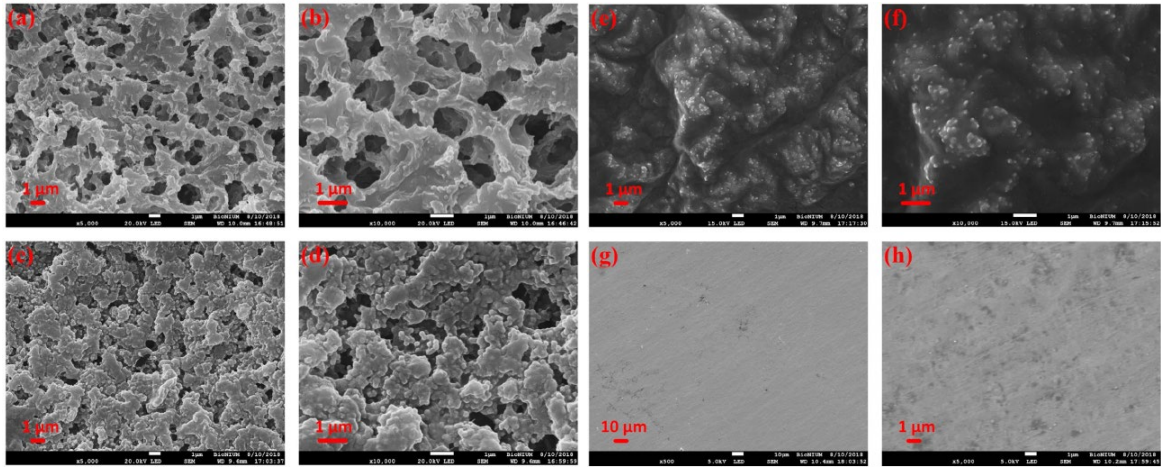
Tabel 2.1 berisi tentang hasil pengujian tarik dari spesimen variasi konsentrasi EMImTFSI, pengujian tarik dilakukan dengan mesin Seiko TMA 6200. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi larutan ion pada campuran berefek pada penurunan *Young's Modulus* spesimen.



Gambar 2.1 Hasil SEM Spesimen BADGE/TetradX/TEPA dan EMImTFSI Film, (a) 34 wt %, (b) 40 wt %, (c) 45 wt %, dan (d) 50 wt % (Kozo Matsumoto, 2008).

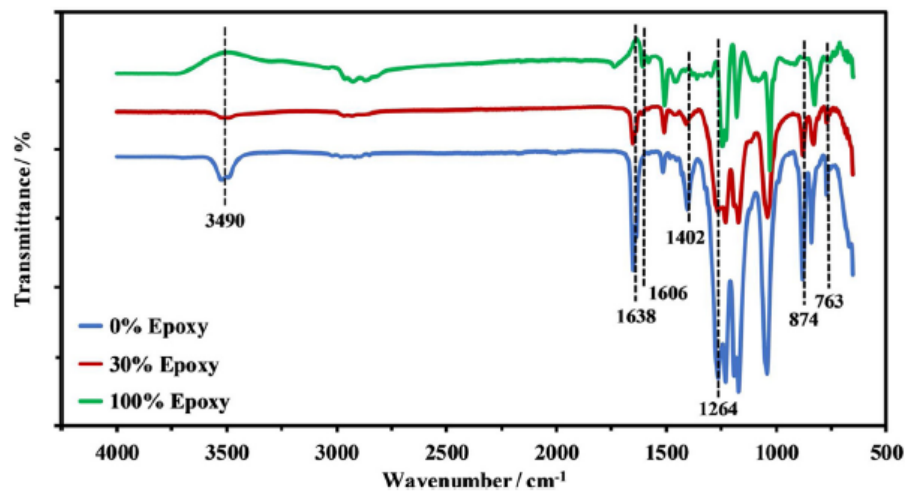
Morfologi spesimen BADGE/TetradX/TEPA dan EMImTFSI film diamati dengan SEM Hitachi SEMEDX-III type N metode *low vacuum composition* dengan detektor *back scattering electron*. Morfologi material yang didapatkan pada spesimen adalah semakin tinggi konsentrasi cairan ion maka semakin jelas pula bola-bola EMImTFSI yang saling berikatan, seperti pada yang terlihat pada gambar 2.1(d). Pengamatan juga menunjukkan transisi struktur terlihat jelas terjadi pada rentang EMImTFSI film pada berat fraksi 40-50 wt %, keberadaan struktur *microphase* juga berperan meningkatkan konduktivitas ion.

Selain penelitian diatas, (Wang, Qiao, Zhang, & Zhou, 2019) juga melakukan penelitian mengenai efek penggunaan *epoxy* sebagai perekat kapasitor struktural. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk membuat suatu alat penyimpanan energi yang berfungsi juga sebagai penguat struktural yang dapat menopang beban. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan membuat spesimen polimer elektrolit yang ditambahkan *epoxy*, polimer elektrolit yang terdiri dari lithium triflate (LiTf) dan polyvinylidene fluoride (PVDF) serta berpelarut tetrahydrofuran (THF), dengan *epoxy resin* (#2000, *Fiber Glass Developments Corp.*) dan *epoxy hardener* (#2020, *Fiber Glast Developments Corp.*) proses sintesis dari ketiga bahan tersebut adalah dengan mencampurkan LiTf dan *epoxy* pada campuran PVDF yang telah dilarutkan dengan tetrahydrofuran selama 1 jam pada temperatur 80°C, semua material tersebut diaduk pada *magnetic stirrer* hingga larutan menjadi homogen. Semua spesimen lalu dikarakterisasi performa elektrokimia, konduktivitas, uji tarik, SEM, FTIR serta viskositas.



Gambar 2.2 Hasil SEM dari Spesimen (a)-(b) 0 wt% epoxy, (c)-(d) 15 wt% epoxy, (e)-(f) 30 wt% epoxy, dan (g)-(h) 100 wt% epoxy. Rasio PVDF dan LiTf 25:75. (Wang, Qiao, Zhang, & Zhou, 2019)

Gambar 2.2 menunjukkan hasil SEM sampel PVDF/LiTf 25:75, dengan tambahan epoxy sebanyak 0, 15, 30 wt%. Pada saat kandungan epoxy 0% terlihat partikel berpori-pori besar yang sangat banyak, keberadaan pori-pori tersebut membuat ruang kosong yang dapat digunakan ion untuk bergerak bebas sehingga konduktivitas ion meningkat, namun semakin banyak tambahan epoxy, semakin kecil pula pori-pori yang ada dan menyebabkan konduktivitas ion menurun.



Gambar 2.3 Diagram Hasil FTIR dari PVDF/LiTf Polymer Electrolyte, PVDF/LiTf Polymer Electrolyte dengan 0% wt Epoxy, 30 wt% Epoxy, dan Epoxy Murni, Rasio Massa PVDF dan LiTf Adalah 25:75 (Wang, Qiao, Zhang, & Zhou, 2019)

Dari gambar 2.3 dapat dilihat bahwa ketiga spesimen memiliki pola spektrum yang mirip, namun dengan tingkat transmitansi yang berbeda. Spesimen SPE(PVDF/LiTf) murni memiliki karakteristik panjang gelombang 763 cm^{-1} CF_2 bending, 874 cm^{-1} pemisahan atom C-H, 1264 cm^{-1} SO_3 asimetris, and 1402 cm^{-1} getaran senyawa CH_2 . Selain itu ditemukan pula karakteristik dari LiTf pada panjang gelombang 1638 dan 3490 cm^{-1} , lalu untuk karakteristik dari epoxy murni ditemukan pada gelombang 1606 cm^{-1} terdapat getaran C-H dari ikatan aromatik.

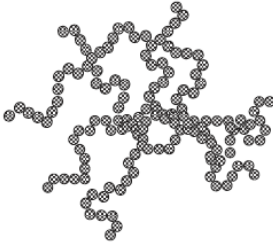
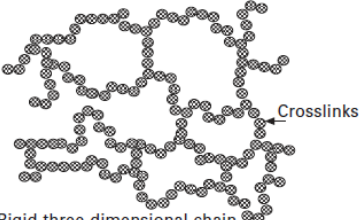
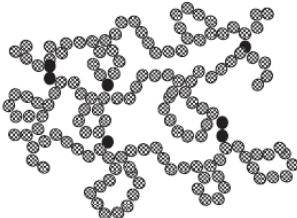
Sedangkan untuk polimer elektrolit padat terdapat sebuah penelitian yang dilakukan oleh Gurusiddappa et al., 2016 meneliti tentang penggunaan PEO dan LiClO₄ sebagai polymer host dan garam lithium untuk pembuatan SPE, dengan pelarut methanol. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk optimisasi konsentrasi penggunaan LiClO₄ sebagai garam lithium pada PEO terhadap stabilitas lapisan dan konduktivitasnya. PEO sendiri dipilih karena memiliki berat molekular yang tinggi yang disebabkan oleh kemampuan kelarutan konsentrasi tinggi pada bermacam-macam jenis *metal salt*. Spesimen hasil penelitian ini kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD, FTIR, serta impedansi.

Berdasarkan lima variasi perbandingan konsentrasi PEO dengan LiClO₄ dapat ditarik kesimpulan bahwa SPE dengan persentase 85 PEO : 15 LiClO₄ %wt memberikan properti konduktivitas tertinggi yakni 3.35×10^{-5} S cm⁻¹, hal ini merujuk pada kesimpulan konduktivitas ion akan meningkat dan energi aktivasi akan menurun seiring meningkatnya konsentrasi garam yang ditambahkan.

2.2 Material Polimer dan Properti Mekaniknya

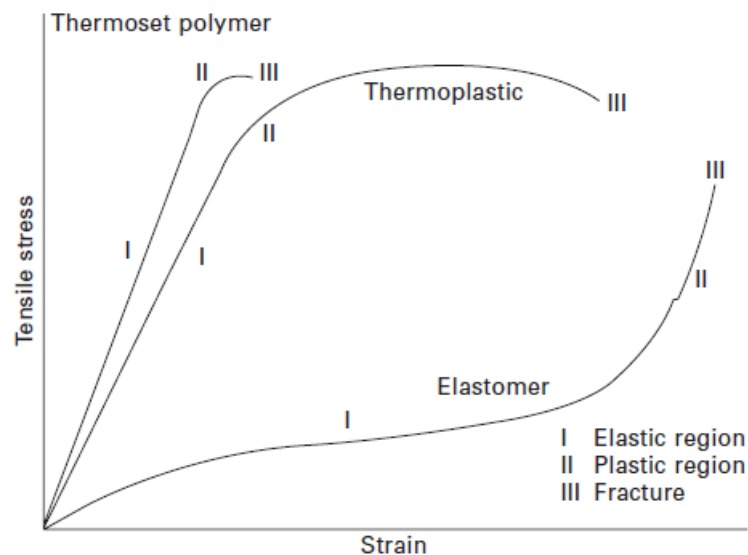
Material polimer merupakan suatu jenis material yang terdiri dari *macromolecules* yang berikatan membentuk rantai polimer panjang dengan inti rantai berasal dari *carbon* dengan jenis ikatan yakni ikatan kovalen dan ikatan *van der waals* (Haile, 2008), kedua jenis ikatan memiliki peran penting dalam ranah properti mekanik dari material, ikatan kovalen merupakan jenis ikatan yang sangat sulit dipecahkan sehingga memiliki properti mekanik yang baik.

Tabel 2. 2 Tabel Perbandingan Jenis Polymer yang Dapat Ditemui pada Kehidupan Sehari-hari ("Polymers for Aerospace Structures," 2012).

<p>Thermoplastic</p> <ul style="list-style-type: none"> • moderate stiffness • moderate strength • high ductility • high impact resistance • poor creep resistance • recyclable 	 <p style="text-align: center;">Flexible linear chains with no crosslinking</p>
<p>Thermoset polymer</p> <ul style="list-style-type: none"> • high stiffness • high strength • high creep resistance • low/moderate ductility • poor impact resistance • cannot be recycled 	 <p style="text-align: center;">Rigid three-dimensional chain structure with crosslinking</p>
<p>Elastomer</p> <ul style="list-style-type: none"> • very low stiffness • low strength • very high elasticity • excellent impact resistance • not easily recycled 	 <p style="text-align: center;">Linear coiled chains with some crosslinking</p>

Pada tabel 2.2 secara garis besar polimer dibagi menjadi 3 yakni: *thermoplastics*, *thermosetting polymers (or thermosets)* dan *elastomers*. Material polimer *thermoplastics* atau termoplastik merupakan jenis polimer yang memiliki keuletan tinggi, ketangguhan tinggi serta tahan impact, polimer jenis ini dapat didaur ulang dengan cara dilelehkan terlebih dahulu. Selanjutnya untuk polimer *thermosetting* atau termoset memiliki modulus elastisitas dan tensile strength yang lebih tinggi daripada termoplastik, jenis polimer ini tidak dapat didaur ulang karena ikatan rantai polimernya tidak dapat mengalir seperti polimer termoplastik. Adapun polimer *elastomers* atau elastomer adalah jenis elastomer yang struktur molekulnya diantara dua jenis polimer sebelumnya, elastomer memiliki sifat mekanik seperti pegas yang dapat kembali seperti semula setelah diberi gaya pada arah tertentu.

Ketika diberi gaya dengan arah tertentu maka sebuah polimer akan mengalami perubahan bentuk atau terjadi proses deformasi, proses deformasi material polimer berbeda dengan proses deformasi material metal, pada material metal proses deformasi terjadi pada peregangan struktur kristal mikro dan pergeseran kristal, sedangkan pada material polimer proses deformasi tak terjadi pada struktur mikro kristalin karena struktur tersebut tidak dimiliki oleh material polimer, namun terjadinya deformasi terdapat pada perengangan rantai polimer yang terbentuk pada proses polimerisasi.



Gambar 2. 4 Grafik Stress-Strain Tipikal Material Polimer (“Polymers for Aerospace Structures,” 2012)

Gambar 2.5 menjelaskan perbedaan masing-masing jenis polimer yang tercantum pada tabel 2.2 dengan pola grafik yang berbeda satu sama lain yang disebabkan adanya perbedaan jenis rantai polimer yang dimiliki. Ketika pola grafik berada di area elastis terjadi peregangan ikatan kovalen di sepanjang rantai polimer mengikuti peningkatan gaya yang diterima material, rantai yang semula berpola acak mulai terjadi pelurusan rantai, namun setelah gaya dihilangkan maka rantai-rantai yang meregang tersebut kembali ke bentuk atau pola awalnya. Selanjutnya pada zona II atau zona plastis maka ditemukan titik yielding, selain itu pada zona plastis ini terdapat beberapa fenomena yakni, peregangan, rotasi, dan pelepasan rantai. Adapun pada zona fraktur atau III terjadi kegagalan material yang biasanya ditemukan pada segmen terlemah atau titik dengan regangan tertinggi (“Polymers for Aerospace Structures,” 2012).

2.3 **Solid Polymer Electrolyte(PEO, LiClO₄ dan Acetonitrile)**

Solid polymer electrolyte merupakan salah satu dari beberapa jenis elektrolit yang dapat ditemukan di dunia ini, sesuai dengan namanya elektrolit ini memiliki bentuk berjenis padatan atau *solid*, kelebihan dari jenis elektrolit *solid* polimer ini adalah memiliki kestabilan mekanik, elektrik, dan elektrokimia. *Solid polymer electrolyte* sendiri biasanya dibuat dari tiga material utama, yakni *polymer host*, garam lithium, dan pelarut (Siti Nor Farhana Yusuf).

Polymer host yang banyak digunakan saat ini adalah *Poly(ethylene oxide)(PEO)*, alasan pemilihan tersebut adalah karena PEO memiliki struktur yang menguntungkan untuk kecepatan perpindahan ion, kapabilitas yang baik, proses pembuatan yang mudah, serta tahan terhadap kebocoran (Mohan L. Verma, 2017). Lalu, garam lithium berfungsi untuk konduktor ion baterai saat bekerja, LiClO₄ merupakan salah satu jenis garam lithium yang banyak digunakan untuk *solid polymer electrolyte*, alasannya adalah karena LiClO₄ memiliki konduktivitas yang tinggi ($\sim 9.0 \text{ mS cm}^{-1}$ pada EC/DMC di temperatur 20 °C), memiliki kelarutan yang tinggi, serta kestabilan *anodic* yang tinggi, dan material lithium perchlorate termasuk bahan kimia yang mudah di-*handle* serta harganya juga termasuk murah (Xu, 2004). Lalu, pelarut dibutuhkan untuk menggabungkan garam lithium dan polimer untuk membentuk *solid polymer electrolyte*, *Acetonitrile* merupakan salah satu jenis pelarut yang cocok digunakan untuk melarutkan PEO dan LiClO₄ dalam pembuatan SPE (Cheng et al., 2017).

2.4 **Epoxy Resin dan Epoxy Hardener**

Epoxy merupakan salah satu material polimer yang banyak digunakan sebagai matriks pengikat *reinforce*-nya, *epoxy* biasanya terdiri dari 2 material yakni resin dan *hardener*. Resin merupakan bahan polimer, monomer atau rantai pendek dengan kelompok epoksida di kedua ujung. Resin umumnya dihasilkan dari reaksi antara epiklorohidrine dan bisphenol-A. Namun memungkinkan juga apabila diganti dengan bahan kimia yang serupa. Sedangkan pengeras(*hardener*) terdiri dari monomer *polyamine* semisal Triethylenetetramine. Ketika senyawa ini dicampurkan, kelompok amina akan bereaksi dengan kelompok epoksida untuk membentuk ikatan kovalen. Setiap kelompok NH dapat bereaksi dengan kelompok epoksida menghasilkan polimer yang kaku dan kuat.

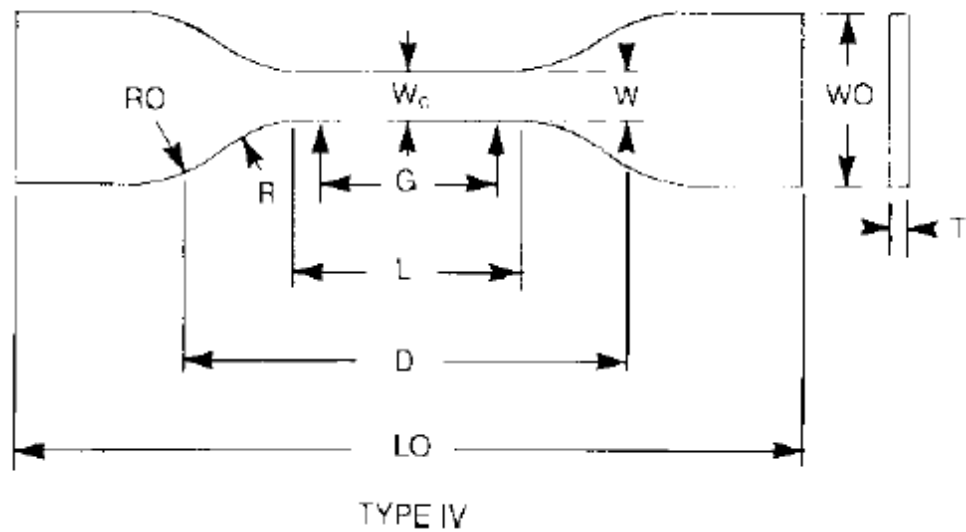
Epoxy cenderung mengeras secara bertahap. Berbeda dengan bahan poliester yang cenderung mengeras dengan cepat, terutama jika katalis yang digunakan dalam reaksi merupakan katalis eksotermik. Semakin besar jumlah katalis yang digunakan, laju reaksi akan meningkat dan panas yang dihasilkan akan semakin besar (Durig, 2000).

Salah satu cara untuk memperkuat SPE saat ini adalah dengan menambahkan *epoxy* pada saat pembuatan SPE, bisphenol A merupakan bahan resin yang banyak digunakan sebagai penguat SPE karena memiliki ketangguhan yang tinggi, daya rekat tinggi, serta tidak mudah bereaksi dengan bahan kimia, sedangkan agen pengerasnya dapat menggunakan macam-macam material, namun *hardener* berjenis *cycloaliphatic amine* merupakan *hardener* yang cocok digunakan karena memiliki ketahanan yang baik terhadap pelarut, serta memiliki kecepatan reaksi *curing* yang tinggi pula (Durig, 2000).

2.5 Metode Pengujian dan Karakterisasi

2.5.1 *Tensile test* ASTM D638

Tensile test ASTM D638 merupakan jenis standarisasi untuk menguji properti tarik /sifat mekanik dari material plastik polimer, standar ini juga dapat digunakan untuk penelitian dan pengembangan dunia sains. Pengujian ini memungkinkan adanya variasi oleh jenis persiapan, hingga kecepatan pengujian. ASTM D638 mengatur semua parameter pengujian, mulai dari *apparatus*, spesimen pengujian, jumlah spesimen uji, kecepatan pengujian, pengkondisian uji, perhitungan, publikasi hasil hingga kepresisian.



Gambar 2.5 Spesimen Uji Tarik ASTM D638 (ASTM, 2017).

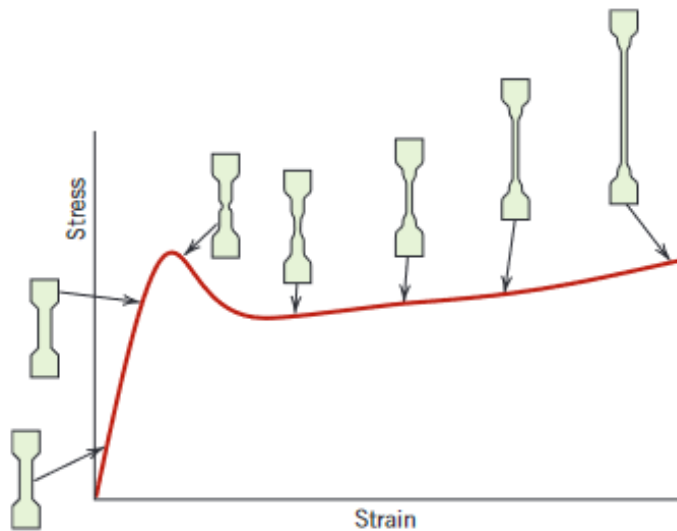
Gambar 2.6 merupakan diagram dari bentuk spesimen uji tarik ASTM D638, dengan standar tersebut, harus ada publikasi yang berisi identifikasi material, metode persiapan spesimen uji, tipe spesimen uji, prosedur pengkondisian uji, jumlah spesimen uji, kecepatan pengujian, jenis alat yang digunakan untuk pengujian, grafik hasil uji, modulus elastisitas, waktu pengujian, dan data revisi standar ASTM D638 (ASTM, 2017).

Adapun dalam menentukan tegangan maksimal dapat diperoleh dengan membagi gaya tarik maksimal spesimen yang dibagi oleh luas penampang spesimen seperti pada rumus dibawah ini:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan

- σ = Tegangan (MPa)
- F = Beban tarik (N)
- A_0 = Luas penampang (mm^2)



Gambar 2.6 Grafik Stress-Strain Dari Polimer Semi Kristalin, Tambah Detail Properti Mekanik (Haile, 2008).

Lalu regangan saat spesimen putus dapat diperoleh dengan membagi selisih panjang akhir saat spesimen gagal dengan panjang awal spesimen:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan

- ϵ = Regangan (mm/mm)
- Δl = Pertambahan panjang (mm)
- l_0 = Panjang daerah ukur (gage length, mm)

Untuk mengetahui modulus elastisitas dapat menggunakan rumus tegangan atau yang dikenal dengan *Hooke's law* dengan melihat grafik tegangan-regangan, dengan bercirikan garis *increment* yang linear pada daerah elastis yang disebabkan regangan meningkat teratur terhadap peningkatan tegangan, berikut adalah grafik dan perhitungannya:

$$\sigma = E \times \epsilon \dots \dots \dots (2.3)$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (2.4)$$

dengan

- E = Modulus elastisitas (MPa)
- σ = Kekuatan tarik (MPa)
- ϵ = Regangan (mm/mm)

Percent elongation saat spesimen putus dapat diperoleh dengan mengalikan nilai regangan dengan 100:

$$\%EL = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana

%EL = Persen elongasi (%)

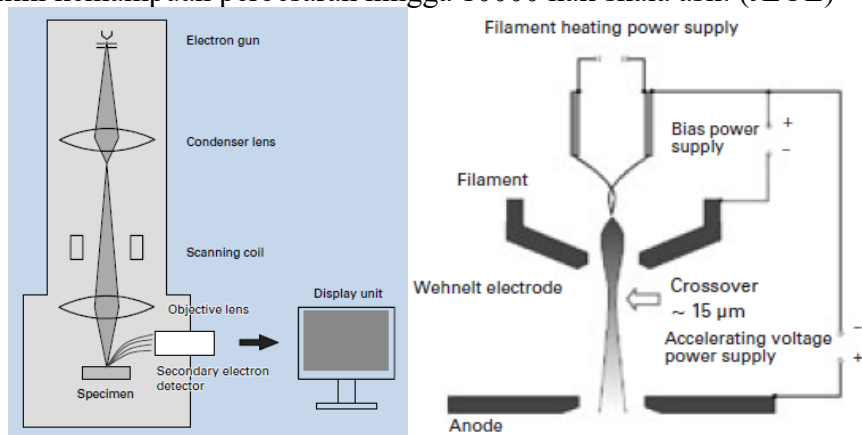
Δl = Pertambahan panjang (mm)

l_0 = Panjang daerah ukur (gage length, mm)

(William D. Callister, 2010)

2.5.2 Karakterisasi SEM

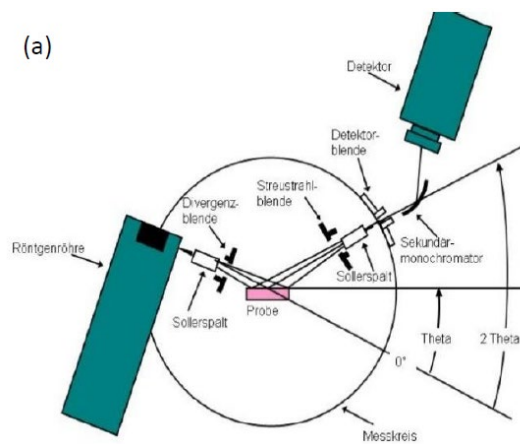
Scanning Electron Microscope atau yang biasa dikenal dengan pengamatan SEM telah dikenalkan sejak 40 tahun lalu, SEM adalah salah satu jenis pengamatan permukaan spesimen dengan menggunakan bantuan pancaran electron pada permukaan spesimen. Cara kerja dari SEM apabila dilihat dari gambar 2.7 dimulai dengan pemancaran sinar electron oleh pemancar electron, lalu sinar tersebut difokuskan dan diatur sesuai dengan kebutuhan, mulai dari fokus hingga perbesaran dengan lensa, setelah sinar electron mengenai spesimen maka terjadilah pantulan yang kemudian ditangkap oleh detektor electron. Tangkapan sinar pantulan tersebut berisi hasil observasi 2 dimensi permukaan spesimen, hasil ini lalu ditampilkan dengan menggunakan monitor. SEM sendiri memiliki kemampuan perbesaran hingga 10000 kali skala asli. (JEOL)



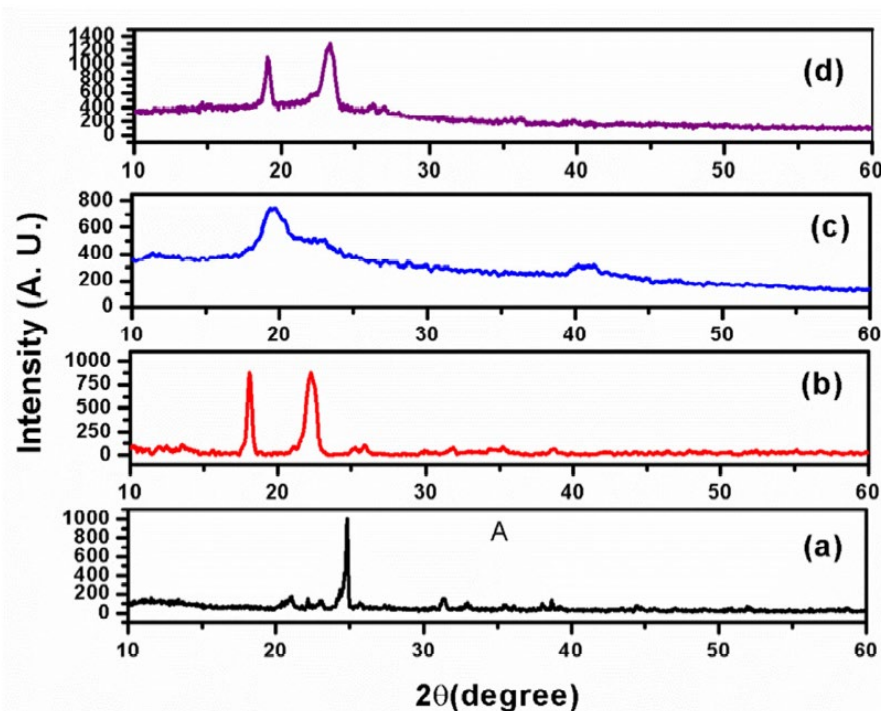
Gambar 2. 6 Diagram Skema Alat Scanning Electron Microscope dan Pemancar Elektron Didalamnya (JEOL).

2.5.3 Karakterisasi XRD

Untuk mengamati fase kristalinitas suatu material baik secara kualitatif maupun kuantitatif maka digunakanlah suatu alat bernama XRD atau *X-Ray Diffraction tools*, dengan XRD struktur kristal dari suatu material dapat teridentifikasi, selain itu XRD juga dapat menentukan bagaimana ukuran, bentuk kristal serta orientasi kristal (Gonon, 2021). Cara kerja alat ini adalah dengan menaburkan elektron yang berupa pancaran sinar X dengan variasi panjang gelombang kontinu yang dihasilkan oleh elektroda yang dialiri listrik bertegangan tinggi, setelah pancaran sinar X ini memasuki daerah sampel, elektron dari atom material menguraikan sinar X tersebut, uraian sinar X tersebut terproyeksi membentuk gelombang dengan panjang dan intensitas yang bermacam-macam. Gambar 2.8 merupakan diagram cara kerja mesin XRD.



Gambar 2. 7 Diagram Cara Kerja Mesin X-Ray Diffraction (Roy, 2018)

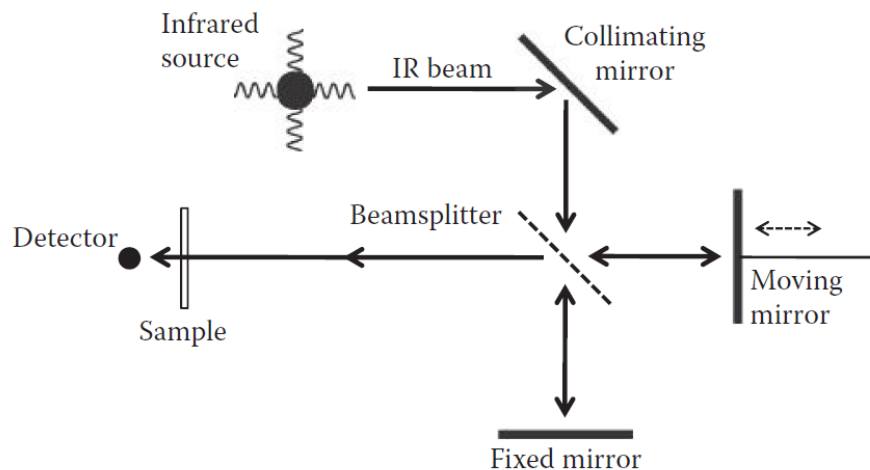


Gambar 2. 8 Grafik XRD (a) LiClO_4 , (b) PEO Murni, (c) PVA Murni, dan (d) Lapisan SPE (Jinisha et al., 2018).

Gambar 2.9 merupakan grafik hasil *X-Ray Diffraction* dari material pembentuk SPE dan SPE itu sendiri, grafik (a) menunjukkan bahwa LiClO_4 adalah garam karena memiliki puncak difraksi yang tajam mencerminkan sifat kristalin garam, puncak grafik tersebut ditemukan pada $2\theta=21^\circ$, 32° and 39° , grafik (b) menunjukkan hasil difraksi sinar X untuk material PEO bahwa struktur alami semi kristalin dari PEO direpresentasikan pada sudut $2\theta=18.11^\circ$ and 22.31° , selanjutnya untuk material PVA ditunjukkan oleh grafik (c), puncak gelombang terdapat pada sudut $2\theta=19.5^\circ$, lalu grafik (d) menunjukkan hasil XRD dari campuran dari PVA/PEO/ LiClO_4 , grafik menunjukkan bahwa terjadi penggabungan garam lithium dengan *polymer host* dari PVA dan PEO, grafik juga menunjukkan bahwa PEO hasil campuran memiliki kristalinitas yang lebih rendah dibanding dengan PEO murni (Jinisha et al., 2018).

2.5.4 Karakterisasi FTIR

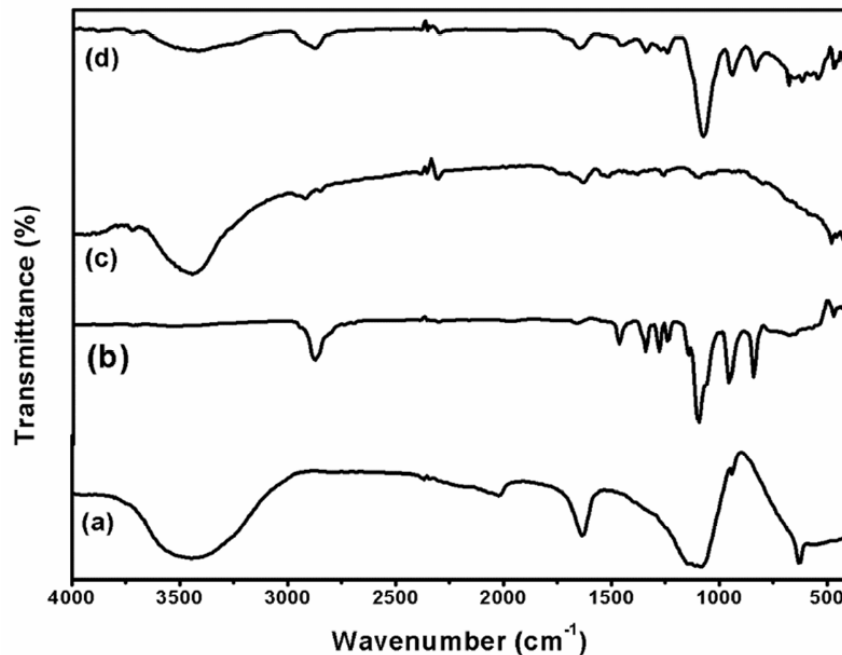
FTIR atau *Fourier transform infrared spectroscopy* merupakan suatu alat yang digunakan untuk mendeteksi kandungan molekul apa saja yang terkandung dalam spesimen yang diamati serta konsentrasi molekul tersebut. Prinsip FTIR apabila dilihat pada gambar 2.10 adalah mentransmisikan sinar inframerah yang kemudian saling dipantulkan kembali dengan bantuan cermin yang dapat bergerak, lalu kumpulan berkas infra merah tersebut diarahkan ke sampel dengan bantuan diafragma untuk mengatur intensitas sinar *infrared* yang mengenai sampel, setelah mengenai sampel terdapat beberapa sinar infra merah yang melewati sampel dan mengenai alat detektor (Smith, 2011). Radiasi inframerah yang mengenai sampel menghasilkan getaran atom dari suatu molekul tertentu yang kemudian menghasilkan transmisi energi tertentu juga (Kirk and Othmer, 1953).



Gambar 2. 9 Diagram Cara Kerja FTIR (Smith, 2011)

Hasil dari pengamatan FTIR adalah berupa grafik yang berisi transmitansi energi atau absorbance pada panjang gelombang tertentu, analisa grafik hasil FTIR dapat dilakukan dengan mencocokkan grafik sampel FTIR yang diamati dengan grafik FTIR acuan. Panjang gelombang FTIR dibagi menjadi tiga spektrum, yakni spektrum gelombang IR jauh yang berada pada

kisaran $<400\text{ cm}^{-1}$, spektrum menengah $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$, dan spektrum dekat pada kisaran $4000\text{-}13000\text{ cm}^{-1}$ (Nandiyanto et al., 2019).



Gambar 2. 10 Grafik FTIR (a) LiClO_4 , (b) PEO Murni, (c) PVA Murni, dan (d) Lapisan SPE(Jinisha et al., 2018).

Gambar 2.11 menunjukkan spektrum hasil FTIR dari beberapa material bahan dan produk dari SPE, grafik a merupakan spektrum FTIR dari LiClO_4 yang menunjukkan adanya puncak tunggal pada bilangan gelombang 625cm^{-1} yang sesuai dengan anion ClO_4^- , lalu grafik b yang berisi spektrum FTIR dari PEO menunjukkan adanya pita vibrasi pada 1350, 1289, dan 1238 cm^{-1} dianggap berasal dari tekukan CH_2 , regangan asimetris, dan puntiran simetris CH_2 masing-masing dari PEO murni, peregangan simetris dan asimetris C-O-C PEO pada 1100 cm^{-1} , lalu pada 947cm^{-1} berasal dari gerakan peregangan C-O.

Pola a, b, dan c merupakan bahan dari SPE, hasil analisa menunjukkan adanya ikatan ikatan baru pada campuran elektrolit tersebut, yakni antara campuran polimer yang berinteraksi dengan garam lithium membentuk elektrolit polimer padat PEO/PVA/ LiClO_4 (Jinisha et al., 2018).

2.6 Kontribusi Penelitian

Penelitian elektrolit polimer padat ini memiliki ranah fokus pada pengamatan dan karakterisasi efek penambahan material *epoxy* yang terdiri dari komponen *resin* dan *hardener* terhadap perubahan properti mekanik berdasarkan pengujian tarik ASTM D638, observasi skala mikroskopis ketika spesimen telah terjadi kegagalan, dan observasi struktur kristalin serta material pembentuk SPE. Penelitian ini dilakukan untuk mengisi kekosongan penelitian yang telah dilakukan dan digunakan sebagai referensi penelitian dan produksi SPE selanjutnya. Adapun kedua penelitian yang digunakan adalah jurnal yang ditulis oleh Kozo Matsumoto pada tahun 2008 yang meneliti tentang efek penambahan *epoxy resin hardener* bisphenol A diglycidyl ether (BADGE), TETRAD-X dan tetraethylenepentamine (TEPA) pada cairan ion

1-ethyl-3-methylimidazolium bis (trifluoro methane-sulfonyl) imide (EMImTFSI), dengan tujuan untuk meningkatkan ikatan ion, konduktivitas ion, serta properti mekanik material. Dan Wang, Qiao, Zhang, & Zhou pada tahun 2019 juga melakukan penelitian mengenai efek penggunaan *epoxy* sebagai perekat kapasitor struktural. Penelitian ini dilakukan dengan membuat spesimen polimer elektrolit yang ditambahkan *epoxy*, polimer elektrolit yang terdiri dari lithium triflate (LiTf) dan polyvinylidene fluoride (PVDF) serta berpelarut tetrahydrofuran (THF), dengan *epoxy* resin (#2000, Fiber Glass Developments Corp.) dan *epoxy hardener* (#2020, Fiber Glast Developments Corp.), tujuan dari penelitiannya adalah untuk membuat suatu alat penyimpanan energi yang berfungsi juga sebagai penguat struktural yang dapat menopang beban.

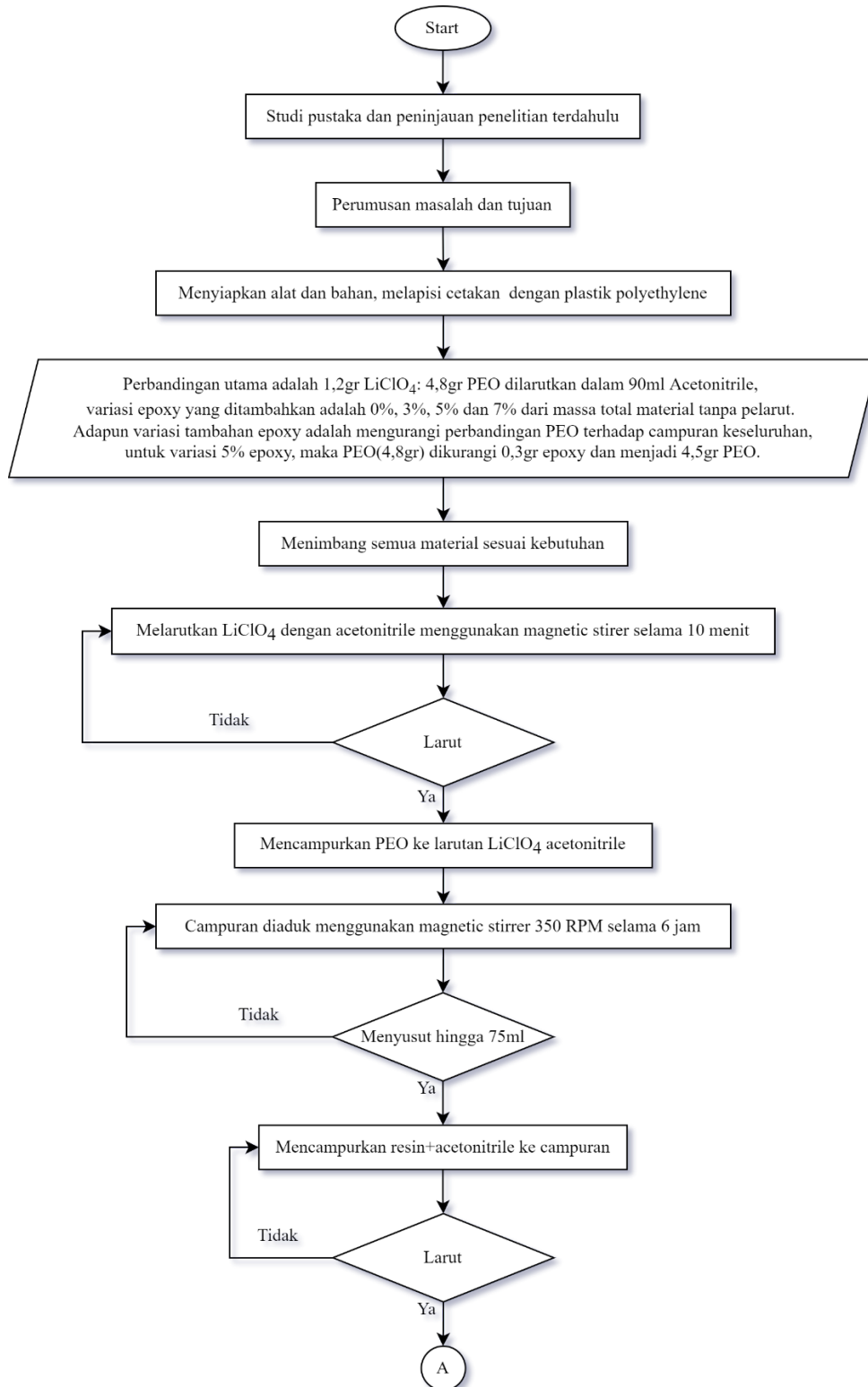
Oleh karena kedua penelitian diatas menggunakan material yang bervariasi maka pada penelitian ini akan dilakukan dengan pemilihan material berbeda pula dengan variasi konsentrasi penambahan persen massa *epoxy* dengan tujuan dapat memberikan acuan atau informasi mengenai elektrolit polimer padat berbahan tertentu. Diharapkan dari penelitian ini dapat membantu pengembangan material elektrolit polimer padat yang digunakan dalam pengembangan teknologi *structural battery composite*.

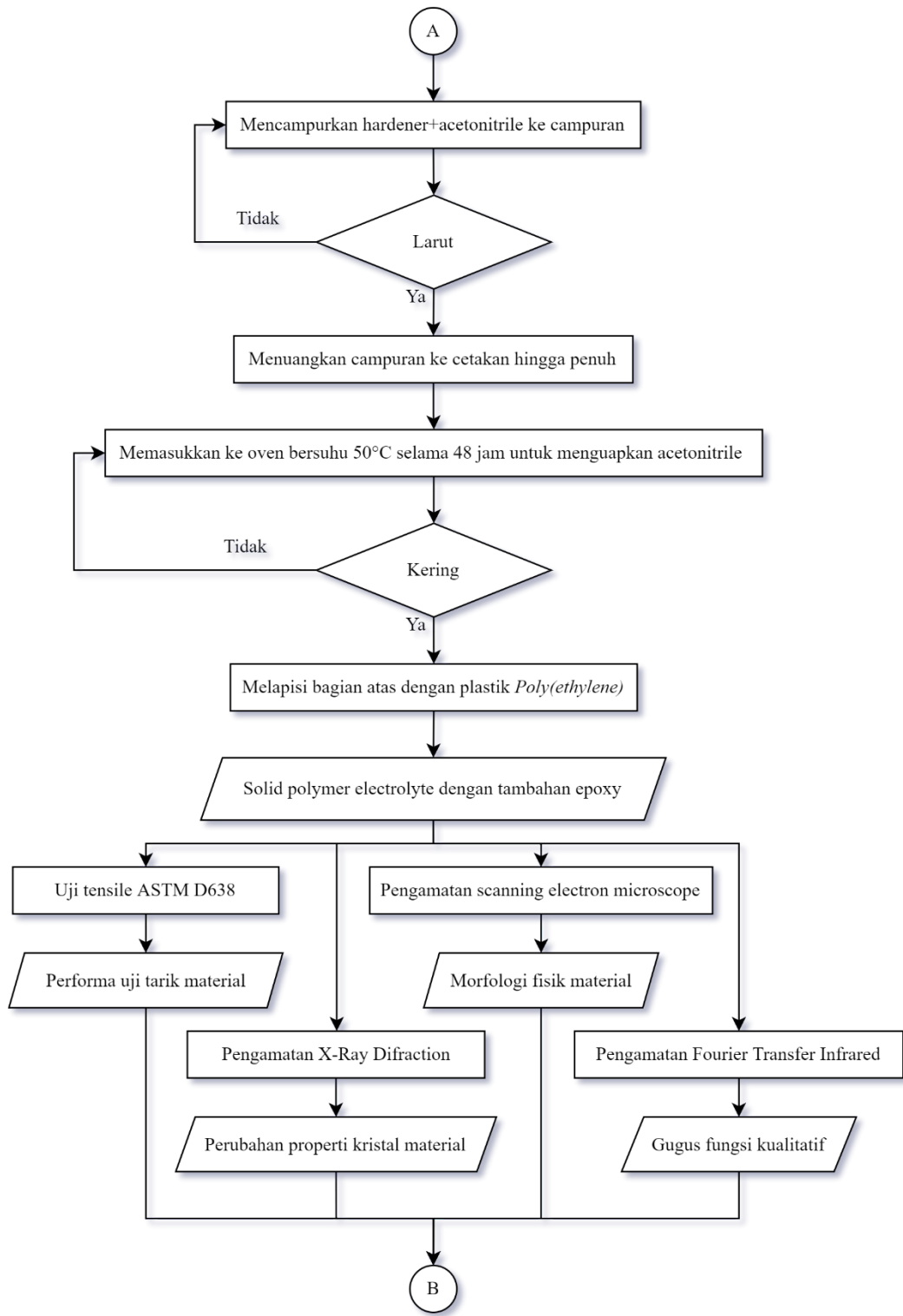
Halaman sengaja dikosongkan

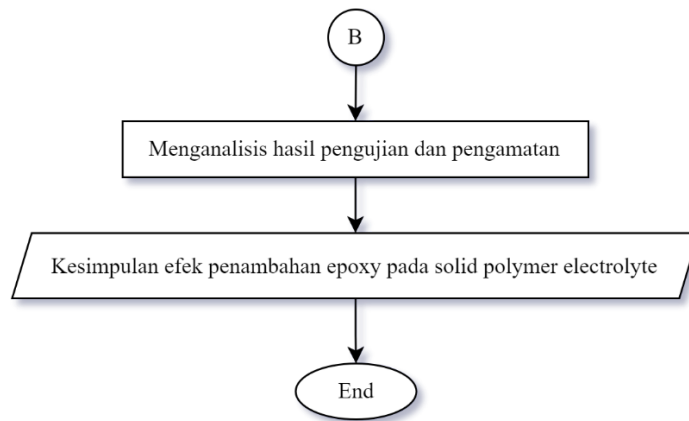
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian

Dalam melakukan penelitian, penulis merancang *flowchart* sebagai berikut agar penelitian dapat berjalan efektif dan efisien.







Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pengerjaan Penelitian.

Gambar 3.1 merupakan diagram alir proses pengerjaan penelitian yang dilakukan oleh penulis, adapun untuk penjelasan terinci dari diagram akan dijelaskan pada sub bab 3.2-3.5.

3.2 Alat

Dikarenakan penelitian ini menggunakan material-material aktif yang mudah bereaksi apabila terkena kontak udara luar maka diperlukan pula alat-alat yang khusus demi dicapainya kesempurnaan spesimen hasil manufaktur, berikut adalah alat-alat yang digunakan untuk pembuatan *epoxy based solid polymer*:

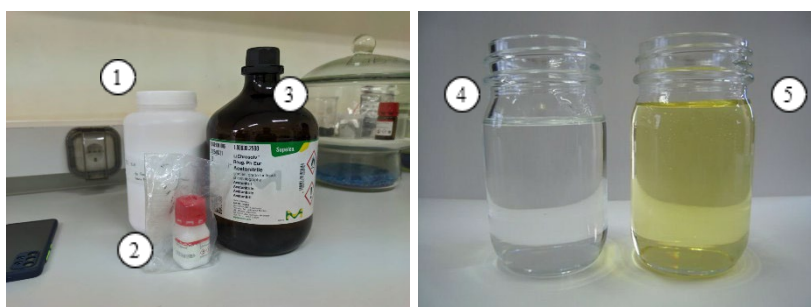


Gambar 3.2 Peralatan yang Digunakan Dalam Pembuatan SPE dengan Tambahan Epoxy Resin(Keterangan Angka Pada Gambar).

1. 1 buah gelas beaker 250ml, digunakan untuk sintesis SPE dengan *epoxy* menggunakan *magnetic stirrer*.
2. 2 buah gelas beaker 10ml, digunakan untuk proses sintesis dengan *magnetic stirrer*.
3. 1 buah pipet titrasi 20ml, digunakan untuk menakar dan menuangkan cairan *Acetonitrile*.
4. 2 set *magnetic stirrer* dengan temperatur yang dapat diatur dan *stirrer*-nya, digunakan untuk proses sintesis material.
5. Cawan timbang kecil 2 pcs, digunakan untuk wadah saat menimbang material.
6. Timbangan analitik digital dengan ketelitian 0,001g, digunakan untuk mengukur berat material.
7. Oven, digunakan untuk mengeringkan spesimen dengan menguapkan *Acetonitrile* dengan suhu 50°C.
8. Sendok kimia 1 pcs, digunakan untuk memindahkan material.
9. Cetakan balok kostum berdimensi 80x75x15mm.

3.3 Bahan

Sedangkan untuk bahan-bahan yang dipakai untuk pembuatan *epoxy based solid polymer electrolyte* ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 3 Bahan yang Digunakan dalam Pembuatan SPE dengan Tambahan Epoxy Resin(Keterangan Angka pada Gambar).

1. *Polyethylene oxide* (PEO), sebagai *polymer host* dari SPE.
2. *Lithium perchlorate* (LiClO_4), sebagai garam lithium dari SPE.
3. Asetonitril, sebagai pelarut campuran LiClO_4 dan *polyethylene oxide*.
4. *Epoxy resin* EPR174(Bisphenol-A), sebagai resin penguat SPE.
5. *Epoxy hardener* EPH555(*Modified Cycloaliphatic Amine*), sebagai agen pengeras sekaligus penguat SPE.

3.4 Langkah Penelitian

Penelitian ini memiliki langkah pengerjaan berupa studi literatur, perumusan masalah dan tujuan, produksi spesimen, serta pengujian. Berikut adalah penjabaran dari beberapa kegiatan tersebut.

3.4.1 Studi Literatur

Guna meningkatkan kualitas penelitian, penulis melakukan studi literatur sebagai dasar acuan penulisan penelitian ini, berdasarkan studi literatur juga, penulis dapat menentukan variabel apa saja yang dapat digunakan dalam penelitian ini.

3.4.2 Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

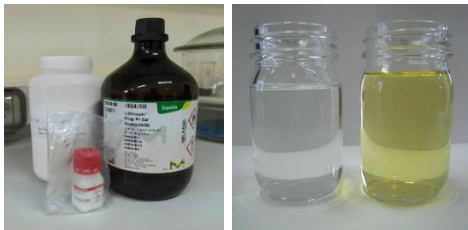

Berdasarkan masalah yang ada, dapat dirumuskan beberapa masalah inti yang selanjutnya digunakan sebagai rumusan masalah. Namun untuk membatasi *scope* penelitian ini digunakan pula beberapa batasan masalah penelitian. Dengan adanya tujuan penelitian berupa observasi efek penambahan zat dipelajari juga fenomena-fenomena di dalamnya.

3.4.3 Pembuatan *epoxy based solid polymer electrolyte*

Proses pembuatan *epoxy based solid polymer electrolyte* (SPE) menggunakan campuran SPE dan *epoxy* yaitu *polyethylene oxide* (PEO), garam litium LiClO_4 dengan tambahan *epoxy*, adapun perbandingan komposisi dasar yaitu 80% PEO dan 20% massa LiClO_4 dilarutkan pada 15ml *Acetonitrile* tiap 1 gram komponen padatan, pemilihan komposisi larutan acuan ini dilakukan berdasarkan jurnal *Fullerton-Shirey & Maranas, 2009*, dengan komponen variasi tambahan *epoxy* sebesar 0%, 3%, 5% dan 7%, tambahan *epoxy* ini mengurangi persen massa PEO. Adapun presentase maksimal tambahan mengacu pada eksperimen yang telah dilakukan dimana *epoxy* lebih dari 7% memiliki kekentalan yang berakibat pada kesulitan produksi spesimen.

Pertama, semua komponen ditimbang dengan massa seberat komposisi yang dibutuhkan, setelah itu LiClO_4 dilarutkan menggunakan pelarut *Acetonitrile* hingga homogen dan selanjutnya ditambahkan PEO dan ditunggu hingga homogen. Setelah itu menguapkan *Acetonitrile* dengan menaikkan suhu *stirrer* menjadi 55°C , apabila terdapat gelembung maka campuran didiamkan kurang lebih 10-15 menit. Lalu dapat dilanjutkan dengan menuangkan *epoxy resin* ke campuran PEO + LiClO_4 dan disusul dengan menuangkan *epoxy hardener*. Setelah homogen campuran dituangkan pada cetakan dan dibiarkan hingga mengering. Keberadaan *acetonitrile* sangat berefek pada kesempurnaan hasil spesimen akhir. Tabel 3.1 berikut berisi tentang skema pembuatan spesimen secara detail.

Tabel 3. 1 Skema Pembuatan Spesimen SPE+Epoxy yang Dilakukan di Puspitek Fisika BRIN Serpong

Hal	Keterangan
	Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam produksi spesimen <i>solid polymer electrolyte</i> + <i>epoxy</i> .
	Menuangkan <i>Acetonitrile</i> dan mengaduknya pada 300 RPM menggunakan <i>magnetic stirrer</i> dan gelas beaker 250ml.

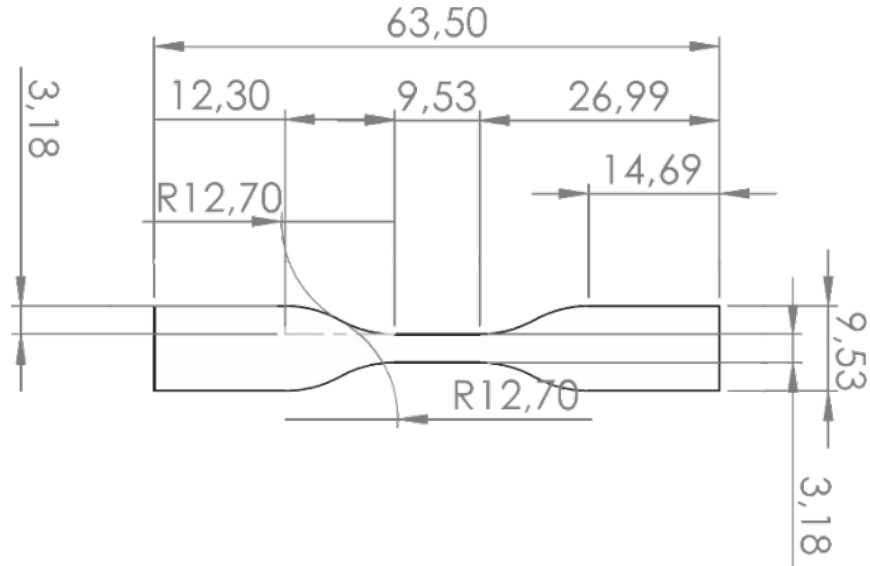
	<p>Menimbang PEO secukupnya dan LiClO_4 seberat 1,2gr menggunakan cawan timbang dengan neraca analitik, angka ketiga dibelakang tanda koma “,” diabaikan.</p>
	<p>Menuangkan garam LiClO_4 ke <i>Acetonitrile</i> untuk dilarutkan, teknik penuangan menggunakan bantuan sendok kimia yang telah disiapkan. Menunggu larutnya garam selama 5 menit.</p>
	<p>Menuangkan PEO ke larutan sebelumnya secara spontan untuk menghindari adanya penumpukan gumpalan PEO di permukaan yang berisi udara yang dapat menimbulkan <i>void</i>.</p>
	<p>Menunggu PEO larut selama 5-7 jam, adapun ciri-ciri kelarutan PEO adalah tidak ada lagi gumpalan rantai polimer yang terlihat, gumpalan ini berwarna lebih pekat dari warna larutan.</p>
	<p>Menimbang resin sesuai dengan kebutuhan, dengan menggunakan gelas beaker 10 ml, lalu dituangkan <i>Acetonitrile</i> secukupnya untuk membantu pelarutan ketika diaduk menggunakan <i>magnetic stirrer</i>.</p>
	<p>Menuangkan resin ke larutan utama dengan spontan dan memastikan tidak ada residu yang masih tertinggal dari gelas <i>beaker</i>. Kedua langkah diulang untuk <i>hardener</i>.</p>

	<p>Mengangkat larutan dan mendinginkan selama beberapa saat (20-30 menit) dengan tujuan menghilangkan gelembung yang muncul selama pengadukan.</p>
	<p>Menuangkan larutan hasil sintesa kedalam cetakan, teknik penuangan adalah menuangkan secara hati-hati dengan tujuan tidak ada void yang muncul, dilarang menggunakan sendok/sejenisnya untuk bantuan karena akan menimbulkan <i>void</i>.</p>
	<p>Memasukkan spesimen yang telah dicetak ke oven bersuhu 50°C, adapun proses oven memakan waktu minimal 48 jam.</p>
	<p>Melapisi spesimen dengan plastik <i>polyethylene</i> untuk menghindari kontaminasi.</p>
	<p>Spesimen <i>solid polymer electrolyte + epoxy</i> hasil produksi.</p>

3.4.4 Pengujian tarik/*tensile* ASTM D638

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui perbandingan kekuatan dari variasi konsentrasi *epoxy* terhadap SPE, terutama *tensile strength*. Berdasarkan pengujian ini pula dapat diketahui properti mekanik lain seperti *modulus elasticity* dan *percent elongation* dari material. Pada penelitian ini jenis standar yang digunakan adalah ASTM D638 dengan tipe spesimen ke V(lima) seperti pada gambar 3.4, sedangkan mesin yang digunakan adalah *MTS Exceed*®

E43.104 10kN Electromechanical Universal Test Systems yang berada di Balai Penelitian Teknologi Karet Pusat Penelitian Karet yang bertempat di Bogor, Jawa Barat. Adapun gambar 3.5 merupakan gambar dari alat uji tarik yang digunakan.



Gambar 3. 4 Dimensi Spesimen ASTM D638 Type V (Materials et al., 2006).



E43

Rated force capacity: 10 kN

Applications: Plastics, rubber, and other non-metal materials.

Gambar 3. 5 MTS Exceed® E43.104 10kN Electromechanical UTS (MTS Exceed Series 40 Electromechanical Universal Test Systems, n.d.).

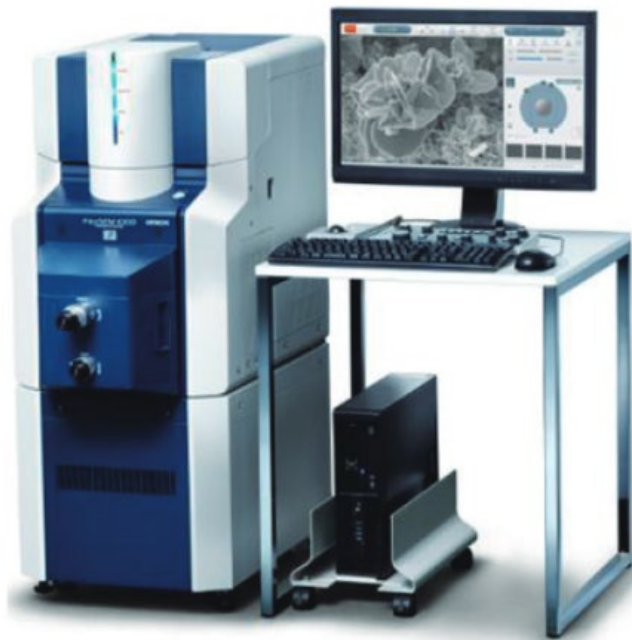
Mesin uji tarik yang digunakan memiliki spesifikasi teknis seperti pada gambar 3.6 adapun untuk ketelitian pembacaan load dari mesin yang digunakan adalah senilai 0,001 N dan 0,000041 mm untuk resolusi terkecil pembacaan langkah mesin.

Model		E43.104
Maximum rated force capacity		10 kN (2200 lbf)
Force capacity options		5 N, 10 N, 20 N, 50 N, 100 N, 200 N, 500 N, 1 kN, 2 kN, 5 kN, 10 kN 1 lbf, 2 lbf, 5 lbf, 10 lbf, 20 lbf, 45 lbf, 110 lbf, 220 lbf, 450 lbf, 1100 lbf, 2200 lbf
Frame type		Table top
Test zones (single/dual)		Single
Maximum test speed		508 mm/min (20 in/min)
Minimum test speed		0.001 mm/min (0.00004 in/min)
Position resolution		0.000041 mm (0.000016 in)
Vertical test space	<i>Standard</i>	1000 mm (39.4 in)
crosshead travel	<i>Extended</i>	1300 mm (51.2 in)
Space between columns		340 mm (13.4 in)
Frame height	<i>Standard</i>	1617 mm (63.7 in)
	<i>Extended</i>	1917 mm (75.5 in)
Frame width		681 mm (26.81 in)
Frame depth		588 mm (23.15 in)
Weight	<i>Standard</i>	120 kg (265 lb)
	<i>Extended</i>	130 kg (287 lb)
Power requirement		Single-phase 200-240 V AC, 3 Amp 50/60 Hz, 600 W

Gambar 3. 6 Spesifikasi Teknis dari Mesin Uji Tarik MTS Exceed® E43.104 10kn Electromechanical UTS (MTS Exceed Series 40 Electromechanical Universal Test Systems, N.D.).

3.4.5 Karakterisasi spesimen menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Pengamatan morfologi permukaan dari spesimen diamati dengan menggunakan mesin SEM Hitachi FlexSEM1000 (gambar 3.8) yang berada di departemen teknik mesin FTIRS-ITS, pengamatan ini bertujuan untuk melihat morfologi bentuk fisik dari permukaan spesimen.



Gambar 3. 7 Mesin Scanning Electron Microscope(SEM) Hitachi FlexSEM1000 (Hiroyuki Komuro, 2017).

3.4.6 Karakterisasi spesimen menggunakan X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi kristalinitas spesimen diamati menggunakan mesin XRD X'pert PRO PANALytical yang berada di departemen teknik material dan metalurgi FTIRS-ITS, seperti pada gambar 3.7, pengujian dilakukan dengan 2θ sepanjang 5° - 90° dengan radiasi $\text{CuK}\alpha$, dengan spesimen berbentuk lingkaran dengan diameter 10mm.



Gambar 3. 8 Mesin X-Ray Diffraction X'pert PRO PANALytical (University of California, n.d.).

3.4.7 Karakterisasi spesimen menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR)

Karakterisasi senyawa kandungan dan produk spesimen dilakukan menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR), jenis mesin FTIR yang digunakan adalah Nicolet iS10 FTIR Spectrometer yang berada di departemen teknik material dan metalurgi FTIRS-ITS, karakterisasi FTIR menggunakan

spektrum sepanjang 400-4000 cm^{-1} . Gambar 3.9 adalah mesin FTIR Nicolet iS10 Spectrometer.



Gambar 3. 9Mesin FTIR Nicolet iS10 Spectrometer (Stone, n.d.).

3.5 Alokasi Waktu Pengerjaan Penelitian

Berdasarkan estimasi waktu yang telah diperhitungkan, dibuatlah alokasi waktu pengerjaan sebagai berikut.

Tabel 3. 2 Timeline Pengerjaan Penelitian

Kegiatan	2021				2022																																							
	Agustus				Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli											
Studi literasi dan observasi	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Perumusan masalah									1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4																				
Seminar proposal tugas akhir																									1	2	3	4																
Pembuatan <i>solid polymer electrolyte</i>																	1	2	3	4																								
Pembuatan <i>epoxy based solid polymer electrolyte</i>																					1	2	3	4	1	2	3	4																
Pengujian spesimen																									1	2	3	4	1	2	3	4												
Analisa data																													1	2	3	4	1	2	3	4								
Sidang tugas akhir																																												

Halaman sengaja dikosongkan

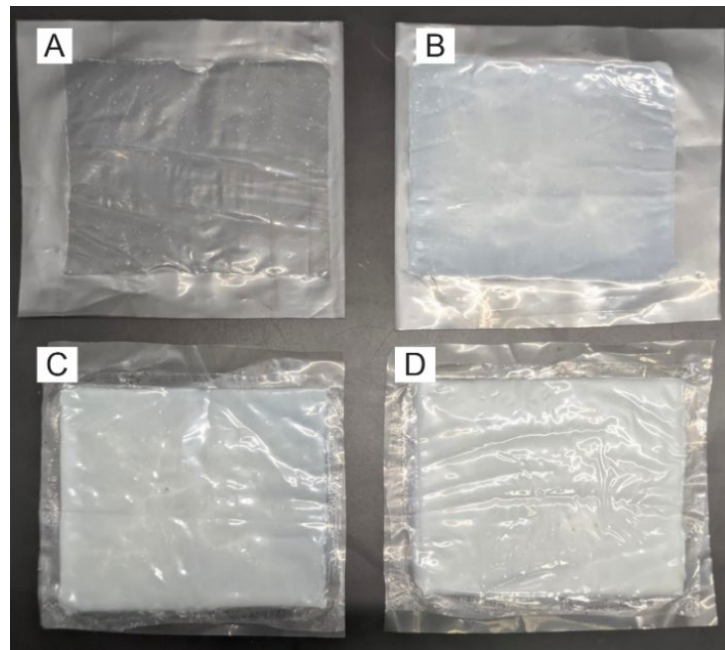
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sintesis SPE+Epoxy berbasis *Lithium Perchlorate* dan *Poly(ethylene oxide)*.

Proses sintesis SPE dilakukan dengan metode yang sama dengan metode jurnal penelitian terdahulu, lalu acuan %wt diambil dari jurnal yang ditulis oleh *Fullerton-Shirey & Maranas, 2009* dengan perbandingan %wt 4:1 PEO:LiClO₄ memiliki struktur paling *amorphous* serta memiliki suhu kerja efektif terendah. *Polymer host* dan garam lithium dicampurkan dengan bantuan *Acetonitrile* sebagai pelarutnya, lalu ditambahkan *epoxy* yang terdiri dari *resin* dan *hardener* sebagai penguat tambahan, adapun penambahan komponen dilakukan dengan catatan campuran telah homogen.

Proses pemecahan garam ionik LiClO₄ menjadi Li⁺ dan ClO₄⁻ dengan pelarut ACN membutuhkan waktu relatif singkat, yakni rata-rata 4 menit, dengan ciri homogen tidak ada lagi butiran LiClO₄ yang tersisa di larutan. Lalu untuk proses pelarutan Poly(ethylene-oxide) sendiri dilakukan dengan meningkatkan kecepatan pengadukan yang semula 300 RPM untuk pelarutan LiClO₄ menjadi 400 RPM agar proses pelarutan berlangsung lebih cepat, setelah dituangkan dengan spontan, PEO berhasil larut homogen setelah 6 jam pengadukan dengan dicirikan tidak ada lagi gumpalan PEO yang belum terlarut. Sebelum menambahkan resin dan *hardener*, larutan PEO+LiClO₄+ACN dinaikkan suhu untuk menguapkan ACN hingga volume tertentu yang dirasa cukup membantu proses penguapan. Lalu resin ditambahkan dengan cara mencelupkan wadah resin ke larutan hingga wadah bersih, begitu pula dengan *hardener* yang ditambahkan setelah 5 menit dari penambahan resin. Proses cetak spesimen sendiri dilakukan dengan menuangkan larutan keseluruhan pada cetakan lalu dimasukkan ke oven pada suhu 50°C selama 24 jam, setelah ACN menguap secara keseluruhan spesimen diangkat dan dilapisi plastik poly(ethylene) guna melindungi dari kontaminasi zat *impurities*. Berikut adalah gambar spesimen hasil produksi:

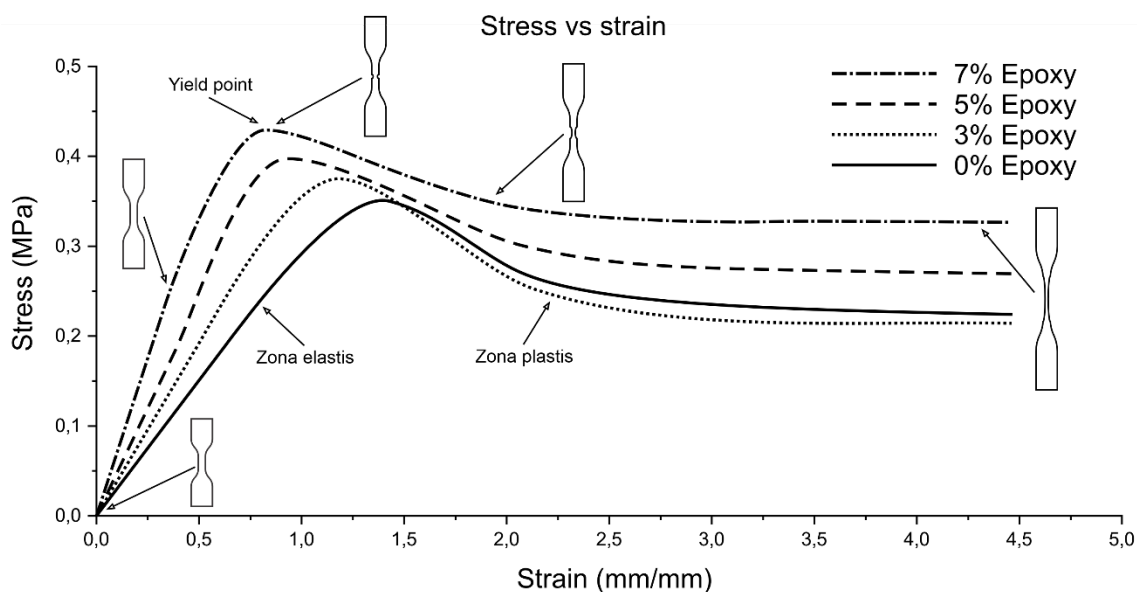


Gambar 4.1 Spesimen Solid Polymer Electrolyte + Epoxy Hasil Produksi, (A) SPE+0% Epoxy (B) SPE+3% Epoxy, (C) SPE+5% Epoxy, dan (D) SPE+7% Epoxy.

Perbedaan yang dapat dianalisa dari gambar 4.1 secara kasat mata adalah, warna spesimen SPE Murni 0% *epoxy* memiliki warna yang bening, lalu menjadi semi pekat seperti yang terlihat pada spesimen SPE+3% *Epoxy* dan spesimen SPE+7% *Epoxy* merupakan spesimen paling pekat. Perbedaan fisik yang lain adalah spesimen SPE Murni 0% *epoxy* memiliki sifat lengket pada beberapa benda seperti sesama SPE, plastik dan sendok, namun berkebalikan dengan spesimen SPE+7% *Epoxy* yang tidak memiliki sifat lengket pada material yang sama.

4.2 Pengujian *Tensile* ASTM D638

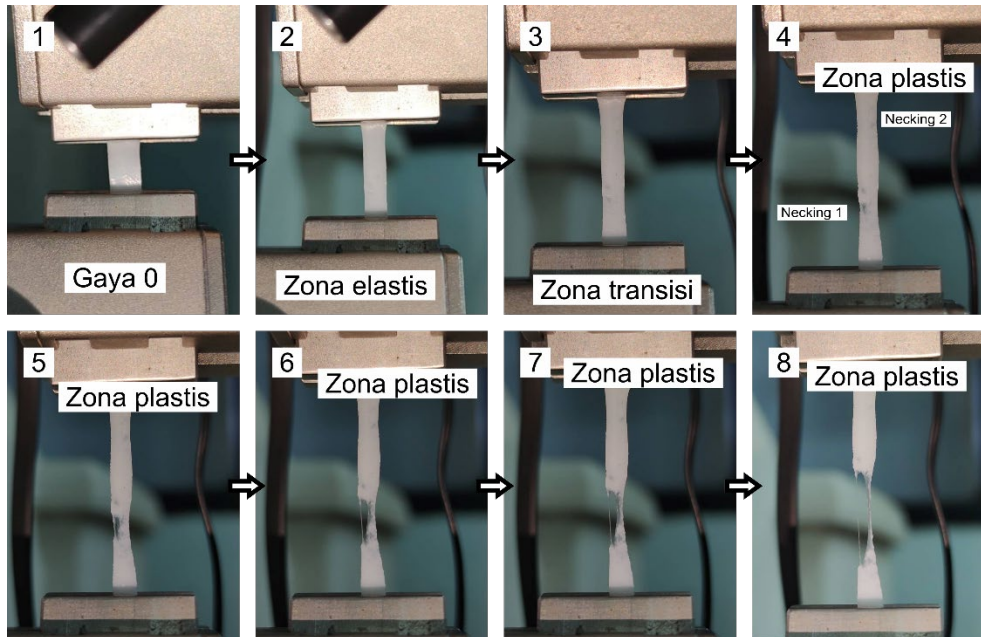
Uji tarik pada penelitian ini menggunakan standar ASTM D638 untuk mempermudah karakterisasi dan analisa *tensile properties* dari spesimen yang telah dibuat. Adapun semua parameter yang harus dilaporkan akan ditulis pada pembahasan sub bab ini, mulai dari identifikasi material pada sub bab 4.1, metode preparasi spesimen, *type* spesimen, parameter tes, jenis alat tes, serta identifikasi diagram hasil pengujian dengan pertimbangan standar deviasi dari rerata pengukuran yang telah didapatkan. Sebelum diuji tarik, spesimen disiapkan terlebih dahulu dengan ukuran yang telah ditentukan, yakni tipe 5 seperti pada gambar 3.4 dengan masing-masing variasi berjumlah 4 spesimen, karena menggunakan satu jenis mesin pemotong maka diasumsikan ukuran spesimen adalah presisi untuk keseluruhan spesimennya, setelah itu sampel dikirimkan ke Balai Penelitian Teknologi Karet Pusat Penelitian Karet yang bertempat di Bogor, Jawa Barat. Parameter permintaan uji tarik juga disesuaikan dengan standar ASTM D638 yakni kecepatan pengujian sebesar 10 mm/menit, jarak antar grip sebesar 9,53 mm serta suhu pengujian pada suhu ruangan. Berikut adalah grafik dari hasil pengukuran uji tarik dengan tambahan diagram deformasi dari spesimen.



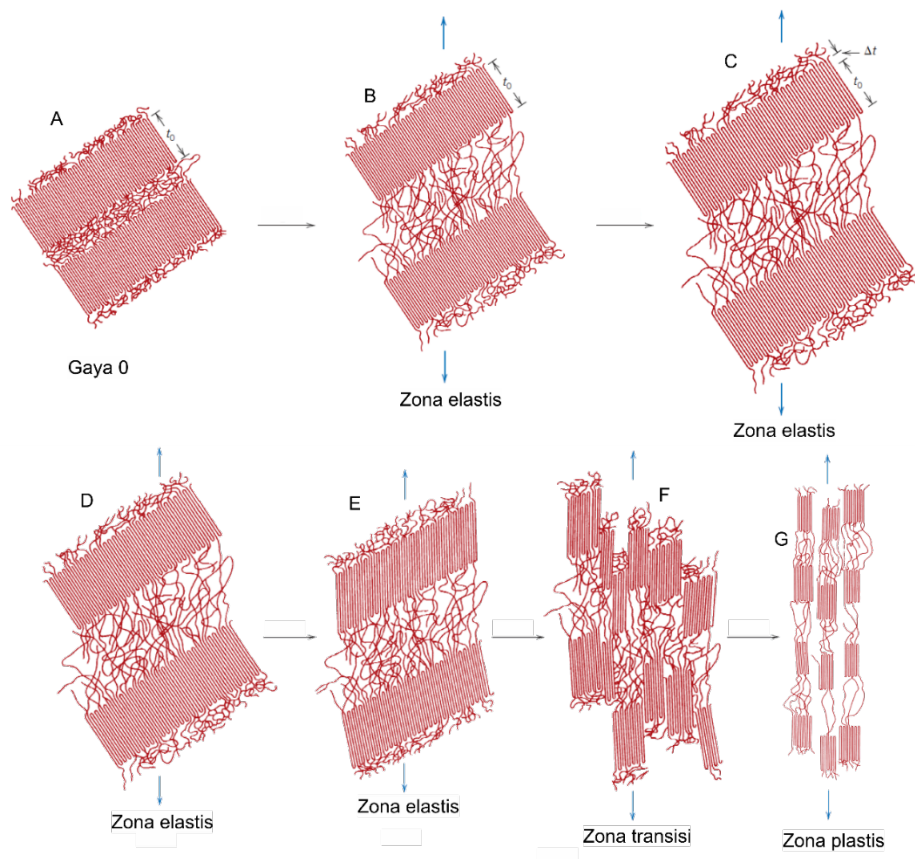
Gambar 4.2 Grafik Skema Stress vs Strain Hasil Pengujian ke Empat Variasi Spesimen.

Grafik *stress-strain* pada gambar 4.2 menunjukkan karakteristik rata-rata masing-masing variasi dari spesimen *solid polymer electrolyte* tanpa *epoxy* dan variasi dengan tambahan *epoxy*, penambahan *epoxy* mengakibatkan peningkatan *yield strength*, *Young's Modulus*, *toughness* secara signifikan, dari pengujian ini dapat dianalisa bahwa penambahan *epoxy* pada *solid polymer electrolyte* mengakibatkan peningkatan *tensile properties*

dikarenakan keberadaan polimer tambahan menyebabkan adanya jenis rantai polimer baru yang ketika diberi gaya dalam hal ini gaya tarik mengakibatkan distribusi gaya menjadi diterima oleh polimer tambahan berupa *epoxy* juga.



Gambar 4.3 Dokumentasi Uji Tarik Spesimen SPE+7% Epoxy.



Gambar 4.4 Skema Deformasi Plastis Dari Polimer Semi Kristalin (Haile, 2008).

Berdasarkan perbandingan gambar 4.3 dan 4.4 perubahan bentuk/deformasi spesimen terlihat secara fisik ketika pengujian, hal ini terjadi karena deformasi material polimer terjadi pada skala mikrostruktur secara keseluruhan yang akhirnya terlihat dalam skala makro, perubahan struktur mikro terjadi pada tingkat masing-masing ikatan rantai polimer yang ada pada spesimen. Ketika deformasi masih berada pada area elastis rantai polimer masih berbentuk tak beraturan seperti gambar 4.3 1&2 serta 4.4 A-E, namun ketika terjadi *necking* yang bersamaan terjadinya *yield point* pada suatu area tertentu seperti pada gambar 4.3 4 rantai polimer yang tak beraturan tersebut menjadi beraturan namun tak semuanya (sebagian dari area *necking*) seperti pada gambar 4.4 F, hal ini berlanjut terus menerus dan telah menjadi pertanda memasuki area deformasi plastis, adapun pelurusan rantai *polymer* ini akan berakhir ketika semua rantai polimer telah lurus dan mengakibatkan terjadinya fraktur/putus pada spesimen. Berikut adalah beberapa tabel hasil perhitungan dari masing-masing pengukuran spesimen oleh uji tarik, dengan standar deviasi yang merupakan sebaran keseluruhan dari data yang diukur, berikut adalah rumus perhitungan standar deviasi:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(Xi - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(4.1)$$

dengan:

- S = Standar deviasi sampel
- X_i = Data individual
- \bar{X} = Rerata sampel
- n = Jumlah sampel

Adapun *coefficient of variation* merupakan perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata data pengujian. Berikut merupakan rumus dari CV sampel yang digunakan pada analisa hasil pengujian (Dietrich, 1982):

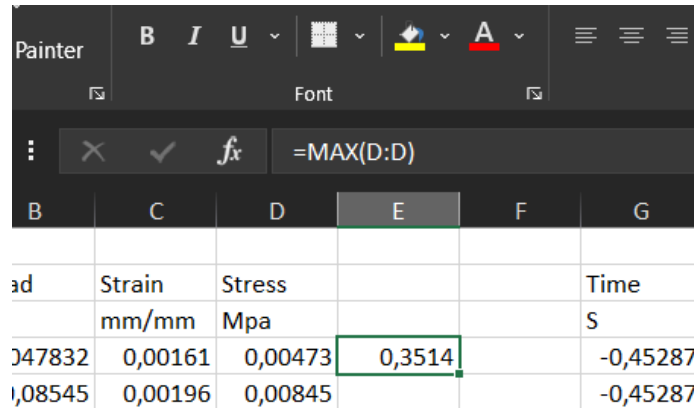
$$CV = \frac{s}{\bar{X}} \times 100\% \dots\dots\dots(4.2)$$

Dengan:

- CV = *Coefficient of variation*
- s = Standar deviasi sampel
- \bar{X} = Rerata sampel

4.2.1 Analisa Yield Strength Material

Berdasarkan grafik hasil pengujian yang telah dilakukan maka diambil puncak tertinggi dari grafik sebagai nilai *yield point* dari material yang telah diuji, hal ini dilakukan karena pada buku “*Polymers for Aerospace Structures,*” 2012 dijelaskan bahwa material polimer akan mengalami deformasi plastis ketika telah melewati *yield point* dan secara mikrostruktur polimer akan mengalami proses peregangan, rotasi, geser dan pelepasan rantai selama fase deformasi plastis. Berikut adalah tabel 4.1 yang berisi hasil analisis nilai *yield strength* dari material yang telah diukur.



Gambar 4.5 Proses Pengambilan Nilai Tertinggi Data Grafik Stress-Strain Spesimen.

Tabel 4.1 Tabel nilai yield strength hasil uji tarik spesimen 4 variasi sesuai standar ASTM D638.

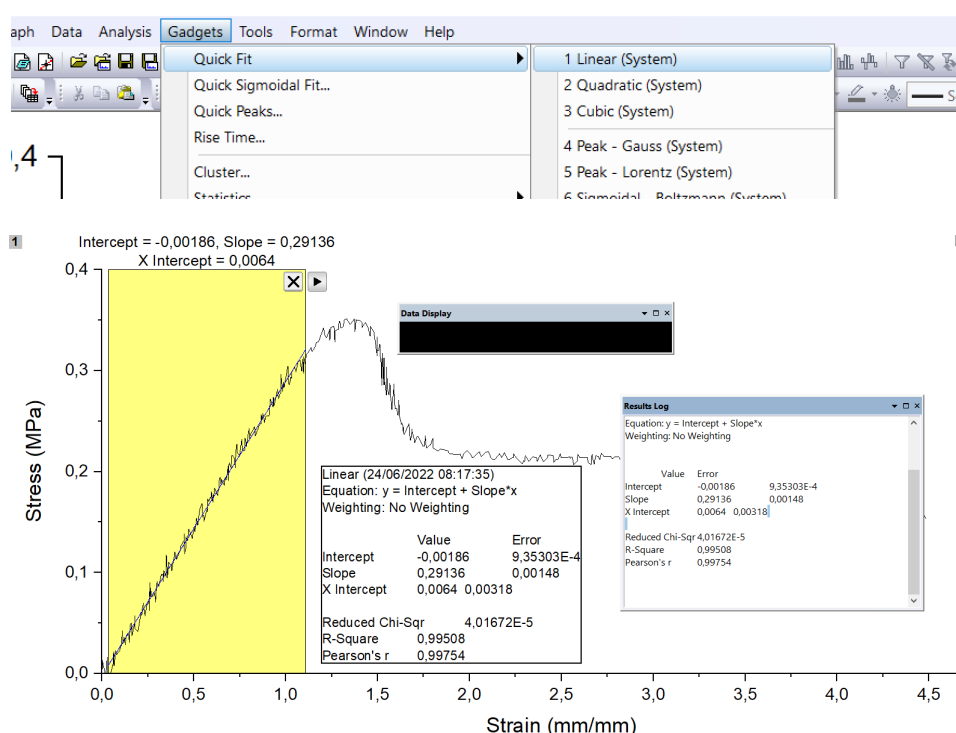
Variasi	Sampel	Yield Strength (MPa)	Average (MPa)	Standar Deviasi (S)	Coefficient Of Variation (%)
0% <i>Epoxy</i>	1	0,351	0,35	0,001	0,16
	2	0,352			
	3	0,351			
	4	0,350			
3% <i>Epoxy</i>	1	0,382	0,37	0,007	1,81
	2	0,366			
	3	0,367			
	4	0,365			
5% <i>Epoxy</i>	1	0,398	0,40	0,001	0,29
	2	0,396			
	3	0,399			
	4	0,398			
7% <i>Epoxy</i>	1	0,434	0,43	0,006	1,33
	2	0,428			
	3	0,433			
	4	0,444			

Tabel 4.1 menunjukkan nilai yield strength dari hasil uji tarik masing-masing spesimen, dengan mengacu besar standar deviasi yang tergolong sangat kecil maka bisa disimpulkan bahwa data hasil pengukuran dapat dipercaya untuk dijadikan acuan. Adapun berdasarkan nilai rerata dari hasil pengukuran dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan *yield strength* sebesar 0,18 MPa untuk variasi SPE +0% *epoxy* dibanding variasi SPE +3% *epoxy*, lalu 0,28 MPa untuk variasi SPE +3% *epoxy* dibanding variasi

SPE +5% epoxy, serta 0,037 MPa untuk variasi SPE +5% dan variasi SPE +7% epoxy, besar nilai peningkatan yang beraturan dapat memberi petunjuk bahwa proses manufaktur dari spesimen dapat dikatakan baik karena memiliki konsistensi dan peningkatan yang baik. Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa nilai *yield strength* terbesar ada pada variasi SPE dengan tambahan epoxy sebesar 7% dengan nilai 0,434 MPa, serta nilai *yield strength* terendah sebesar 0,351 MPa pada variasi spesimen SPE murni tanpa tambahan epoxy.

4.2.2 Analisa Young Modulus Material

Selanjutnya untuk analisa modulus elastisitas dari material dilakukan dengan membagi nilai stress terhadap strain pada beberapa titik tertentu yang berada di antara daerah *linear* elastis hingga sebelum *yield point* atau sebelum terjadi deformasi plastis.



Gambar 4.6 Prosedur Pengambilan Nilai Modulus Elasticity Dari Grafik Hasil Pengujian Menggunakan Bantuan Fungsi Linear Fitting Pada Software OriginPro2018.

Tabel 4.2 Tabel nilai Modulus Elasticity hasil uji tarik spesimen 4 variasi sesuai standar ASTM D638.

Variasi	Sampel	Modulus Elasticity (MPa)	Average (MPa)	Standar Deviasi (s)	Coefficient of Variation (%)
0% Epoxy	1	0,278	0,30	0,023	7,55
	2	0,300			
	3	0,290			
	4	0,338			
3% Epoxy	1	0,374	0,37	0,005	1,21
	2	0,368			
	3	0,379			

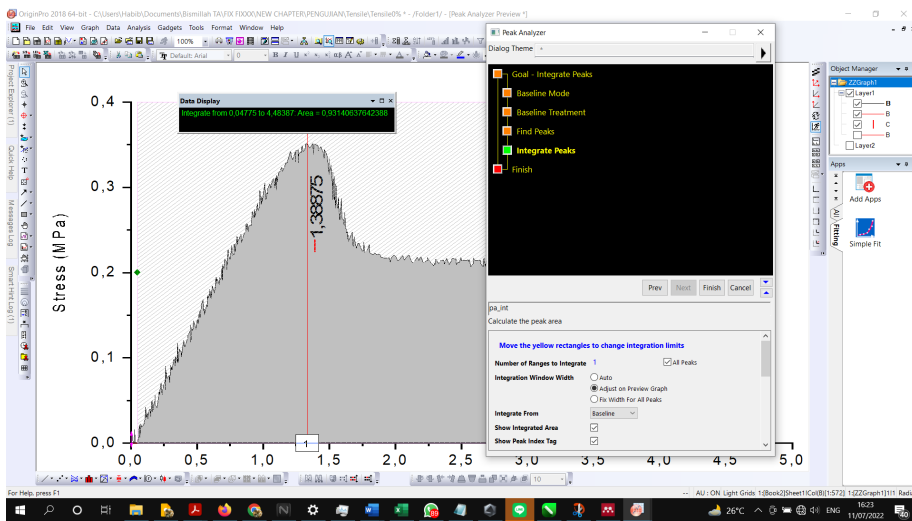
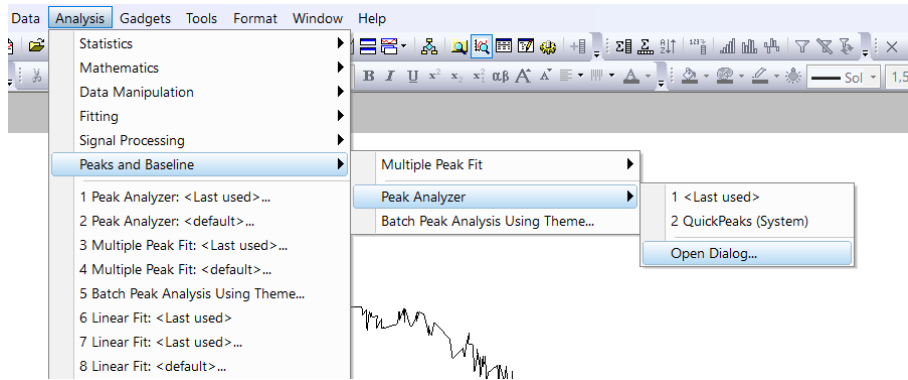
	4	0,380			
5% <i>Epoxy</i>	1	0,498	0,50	0,003	0,66
	2	0,505			
	3	0,504			
	4	0,507			
7% <i>Epoxy</i>	1	0,647	0,63	0,017	2,60
	2	0,622			
	3	0,615			
	4	0,655			

Gambar 4.6 merupakan prosedur pengolahan data grafik hasil pengujian spesimen menggunakan *software* OriginPro2018, adapun metode yang biasa digunakan untuk menentukan modulus elastisitas dari spesimen adalah dengan menggunakan rumus 2.4, namun untuk analisa kali ini digunakan *software* OriginPro dengan cara memilih opsi menu “*gadget*” lalu pilih menu “*quick fit*” dan pilih menu “*linear (System)*”, lalu menentukan *scope* untuk area yang akan diambil untuk analisa *gradien fitting*, nilai modulus elastisitas didapatkan dari nilai *slope*.

Adapun tabel 4.2 merupakan hasil pengukuran modulus elastisitas dari masing-masing spesimen SPE dengan variasi penambahan *epoxy*, peningkatan modulus elastisitas spesimen memiliki pola yang mirip dengan penambahan *yield strength*, namun adanya standar deviasi yang tergolong besar pada variasi spesimen SPE murni dimungkinkan disebabkan oleh ketidaksempurnaan metode produksi, terutama pada distribusi ketebalan spesimen. Yakni paling kecil dimiliki oleh spesimen SPE 0% *epoxy* sebesar 0,30 MPa, dan terbesar dimiliki oleh spesimen 7% *epoxy* senilai 0,63 MPa, peningkatan modulus elastisitas berbanding lurus dengan presentase penambahan *epoxy*.

4.2.3 Analisa *Toughness Material*

Ketangguhan atau *toughness* yang didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menyerap energi mendadak tanpa terjadinya kegagalan atau perubahan bentuk plastis, dengan menghitung luasan area bawah grafik *stress vs strain*, kita dapat mendapatkan nilai ketangguhan material (Haile, 2008). Dalam aplikasinya ketangguhan dari polimer digunakan untuk mempertahankan material apabila terkena gaya secara tiba-tiba, semakin besar nilai ketangguhan material semakin aman pula konstruksi dari suatu benda.



Gambar 4.7 Prosedur Pengambilan Nilai Toughness dari Grafik Hasil Pengujian Menggunakan Bantuan Fungsi Peak Analyzer Pada Software OriginPro2018.

Tabel 4.3 Tabel Nilai Toughness Hasil Uji Tarik Spesimen 4 Variasi.

Variasi	Sampel	Toughness (Nmm/mm ³)	Average (Nmm/mm ³)	Standar Deviasi (s)	Coefficient of Variation (%)
0% Epoxy	1	0,920	1,01	0,057	5,61
	2	1,036			
	3	1,058			
	4	1,057			
3% Epoxy	1	1,048	1,04	0,010	0,92
	2	1,027			
	3	1,052			
	4	1,048			
5% Epoxy	1	1,262	1,24	0,016	1,32
	2	1,219			
	3	1,237			
	4	1,252			
7% Epoxy	1	1,448	1,32	0,075	5,65
	2	1,248			
	3	1,335			
	4	1,286			

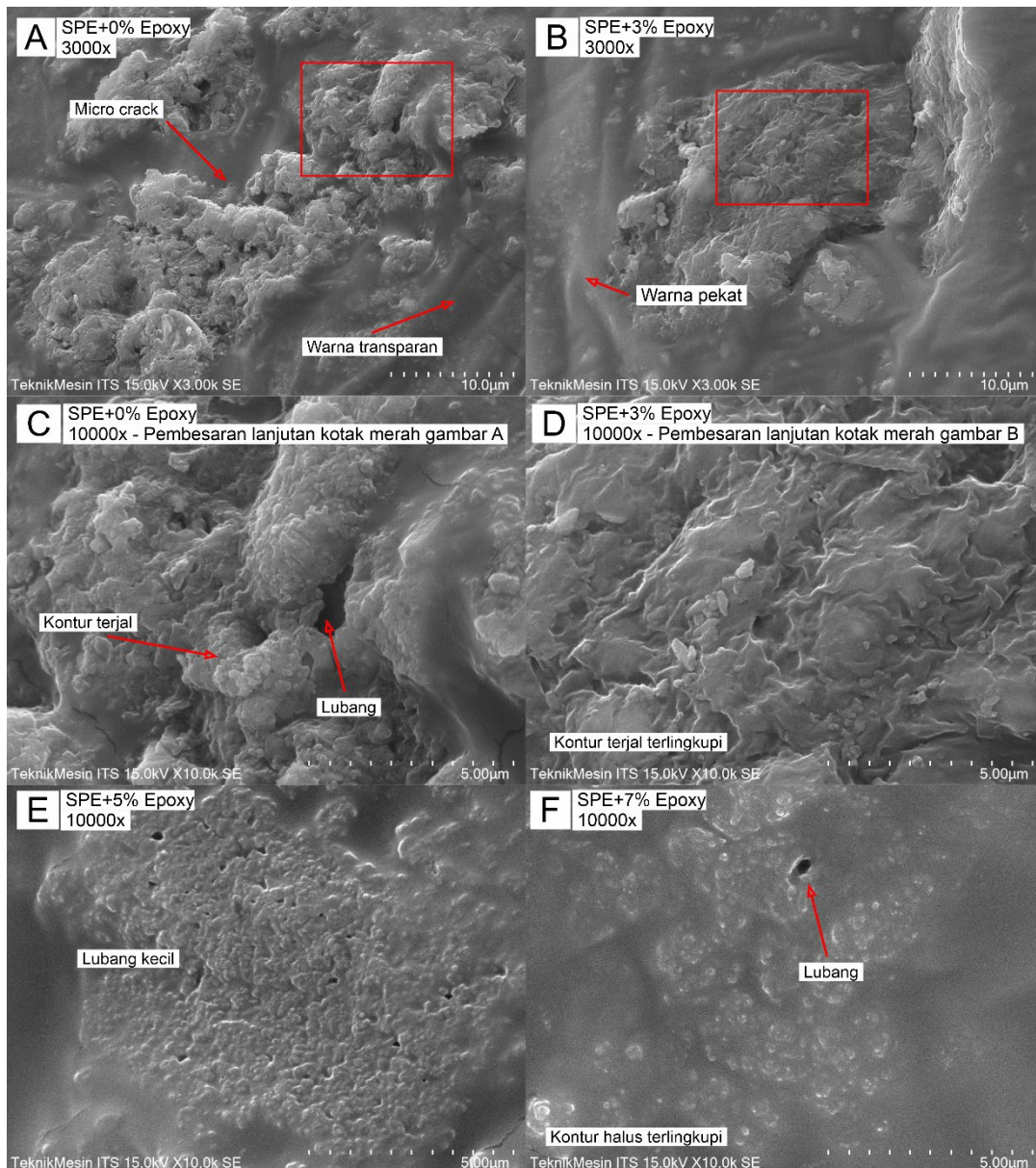
Gambar 4.7 merupakan prosedur penggunaan fungsi *peak analyzer* pada *software OriginPro* yang juga dapat digunakan untuk mengukur luasan area cakupan sebuah grafik, nilai dari ketangguhan yang didapatkan terpaut pada titik akhir dari grafik, semakin tinggi strain yang dapat diterima material sebelum gagal merupakan salah satu kunci tingginya ketangguhan suatu material.

Sedangkan tabel 4.3 merupakan nilai ketangguhan material pada titik regangan yang sama, didapatkan menggunakan prosedur *peak analyzer*. Nilai ketangguhan material apabila dilihat dari perbandingan rata-rata tiap variasi maka dapat dinilai bahwa adanya penambahan dan peningkatan *%wt epoxy* berakibat pada meningkatnya nilai toughness, namun untuk variasi perbandingan SPE murni dan SPE+3% *epoxy* dapat dilihat hanya terdapat peningkatan ketangguhan yang sangat kecil, namun apabila dilihat dari gambar 4.2 dapat dianalisa bahwa spesimen SPE murni memiliki modulus elastisitas yang lebih rendah namun memiliki ketangguhan zona deformasi plastis yang lebih tinggi, oleh karena hal ini lah perbandingan nilai ketangguhan dari SPE murni dan SPE+3% *epoxy* memiliki perbedaan yang kurang signifikan. Sedangkan untuk spesimen SPE+7% *epoxy* memiliki nilai ketangguhan yang kurang konsisten dan cenderung memiliki nilai standar deviasi yang besar.

Secara keseluruhan nilai *mechanical properties* dari spesimen acuan yakni SPE+0% *epoxy* yang didapatkan memiliki kesesuaian dengan jurnal berjudul “*Thermal, electrical, and mechanical properties of (PEO)₁₆LiClO₄ electrolytes with modified montmorillonites*” oleh Fan et al., 2003, kesesuaian tersebut terdapat pada nilai *yield strength* yakni sebesar 0,35 MPa. Adapun sebagai catatan besar nilai UTS dari PEO dengan Mw 600.000 dari jurnal Moreno et al., 2011 memiliki tensile strength senilai 0,7 MPa. Dan *epoxy* yang digunakan memiliki UTS senilai 55,16 MPa berdasarkan TDS terlampir. Oleh karena itu penggunaan *epoxy* sebagai filler penguat dari SPE berhasil karena dapat meningkatkan properti mekaniknya.

4.3 Karakterisasi spesimen menggunakan *Scanning Electron Microscope*

Proses pengambilan data morfologi permukaan spesimen dilakukan menggunakan alat SEM di teknik mesin ITS. Prosedur preparasi yang dilakukan pada tiap spesimen adalah dengan mematahkan spesimen terlebih dahulu dengan tujuan agar dapat melihat penampang melintang dari spesimen *solid polymer electrolyte epoxy*, namun karena spesimen tidak mudah dipatahkan maka spesimen direndam terlebih dahulu pada nitrogen cair bersuhu $<-190^{\circ}\text{C}$ untuk mempermudah proses pematahan. Adapun untuk pembesaran yang digunakan adalah 3.000 dan 10.000 kali pembesaran.



Gambar 4.8 Hasil SEM dari Spesimen Menunjukkan Fenomena Perubahan Morfologi Permukaan.

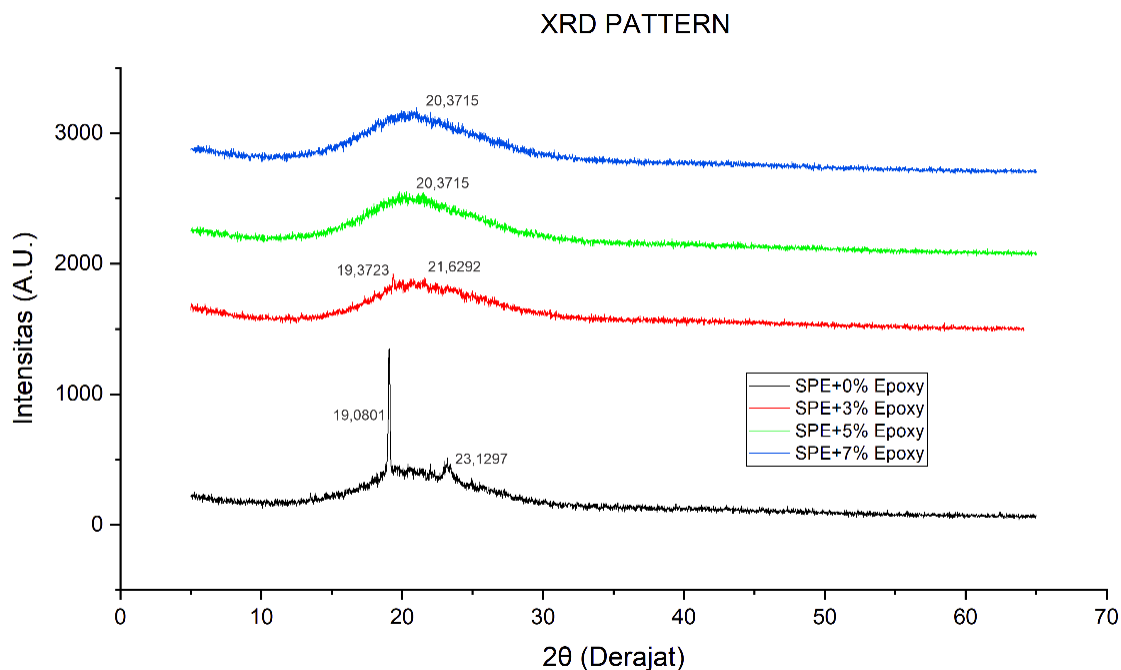
Gambar 4.8 merupakan hasil *scanning electron microscope* dari spesimen SPE+epoxy, bila dibandingkan dengan jurnal karangan Wang *et al.*, 2019 terutama pada gambar 2.2 e dan f memiliki kesamaan dengan gambar 4.8 E dan F, yakni epoxy terlihat melingkupi keseluruhan permukaan dari spesimen yang terlihat di gambar, namun untuk spesimen 5% epoxy masih

nampak rongga-rongga yang mencerminkan spesimen tersebut memiliki permukaan porous, fenomena ini juga dapat ditemukan pada spesimen SPE murni dan SPE+3% *epoxy*, dimana spesimen SPE murni memiliki rongga terbanyak dibanding variasi spesimen lainnya. Keberadaan rongga ini dimungkinkan karena keberadaan gelembung udara atau *Acetonitrile* yang terperangkap pada saat proses penguapan. Pada gambar 4.8 A dan C terlihat keberadaan retakan yang kemungkinan besar muncul akibat penyusutan saat reaksi polimerisasi berlangsung dimana SPE murni tidak memilikirantai polimer se kompak ketiga variasi lainnya yang mana menggunakan *epoxy* sebagai tambahan, dimungkinkan juga retakan ini muncul karena proses pematahan spesimen ketika preparasi sampel SEM. Keberadaan retakan ini dapat menjadi *initial failure* ketika menerima beban tertentu, keberadaan retakan ini tidak ditemukan pada gambar hasil pengamatan yang lain atau spesimen dengan tambahan *epoxy*, hal ini mendukung hipotesis adanya perubahan kekompakan rantai polimer yang menjadi lebih kompak.

Hasil SEM pada gambar 4.8 juga menunjukkan semakin tinggi kadar *epoxy* yang diberikan semakin tidak terlihat pula struktur terjal banyak terlihat pada SPE murni tanpa kandungan *epoxy*, besar kemungkinan apabila fenomena ini terjadi karena adanya lapisan atau filler baru yang berupa *epoxy*, keberadaan lapisan ini mengakibatkan dua kemungkinan, yakni lapisan *epoxy* menjadi filler yang berakibat menjadi penguat polimer ketika menerima beban berupa gaya tertentu, dari analisa keberadaan garam lithium secara fisik tidak ditemukan adanya garam di permukaan spesimen yang membentuk struktur *spherical* seperti pada *fig. 2. a-f* dari jurnal yang ditulis oleh *Gurusiddappa et al., 2016*, hal ini dapat disebabkan oleh pembesaran yang digunakan terlalu besar atau metode manufaktur yang berbeda, dalam hal ini jurnal sitasi tidak mencantumkan metode pembuatan spesimen mereka.

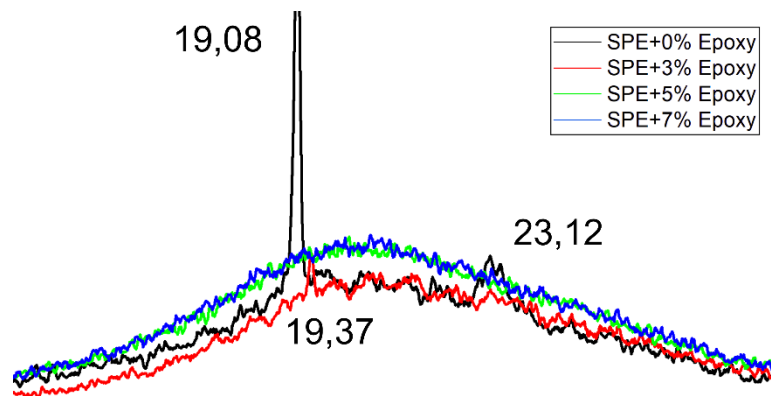
4.4 Karakterisasi spesimen menggunakan X-Ray Diffraction(XRD)

Karakterisasi XRD sendiri dilakukan dengan prosedur XRD pada umumnya, spesimen disiapkan dengan memotong spesimen membentuk lingkaran berdiameter 10 mm menggunakan *hole punch* yang memiliki diameter 10mm. Setelah itu XRD dilakukan dengan bantuan fasilitas XRD dari departemen teknik material dan metalurgi ITS, dengan menggunakan 2θ sepanjang 5° - 90° dengan radiasi $\text{CuK}\alpha$. Berikut adalah grafik perbandingan XRD secara keseluruhan.



Gambar 4.9 Spektra XRD dari Spesimen Beserta Peak yang Ditemukan.

Dengan *software* OriginPro2018 menggunakan fungsi *tools stacked data plot*, data XRD dapat diplot bertumpuk seperti pada gambar 4.9 untuk memudahkan analisa, dengan fungsi definisi puncak pada OriginPro2018 yang berdasarkan data yang telah didapatkan pada saat pengujian.



Gambar 4. 10 Perbandingan Peak Grafik yang Telah Dilakukan Smoothing.

Gambar 4.10 merupakan hasil *smoothing* yang dilakukan dengan *software* OriginPro2018, dengan dilakukannya *smoothing* diharapkan penulis lebih mudah melakukan analisa terutama pada perbedaan grafik. Seperti yang dapat dilihat pada $2\theta = 19,0^\circ - 19,5^\circ$ terlihat puncak yang sangat tajam dan tinggi yakni senilai 998,17 dari spesimen SPE murni, namun pada grafik spesimen SPE+3% Epoxy puncak tersebut menjadi sangat rendah, sekitar 197,83, hal ini juga terjadi pada $2\theta = 23,12^\circ$ dengan ketinggian 102,39 menjadi hilang pada variasi SPE+3% epoxy dan kedua spesimen lainnya. Berdasarkan jurnal *Lim et al., 2017* hal tersebut terjadi karena LiClO_4 berikatan dengan polyethylene(oxide) sehingga sifat kristalinitasnya menghilang.

Tabel 4. 4 Ukuran Kristal berdasarkan puncak terdeteksi yang dihitung dengan rumus Scherrer.

Variation	Pos. ($^{\circ}2\theta$)	FWHM (Rad)	Crystallite size (nm)
SPE+0%Epoxy	19,0801	0,1004	80,23595
	23,1297	0,468	17,31192
SPE+3%Epoxy	19,3723	0,0836	96,40154
	21,6292	0,3346	24,17192
SPE+5%Epoxy	20,3715	0,09	89,6832
SPE+7%Epoxy	20,3715	0,09	89,6832

Berdasarkan data XRD yang berisi data puncak terdeteksi dilakukan analisa perhitungan untuk mengetahui ukuran kristal yang terkandung pada spesimen dengan menggunakan rumus Scherrer sebagai berikut (Lim et al., 2017).

$$D = \frac{K \lambda}{\beta \cos \theta}$$

Dimana:

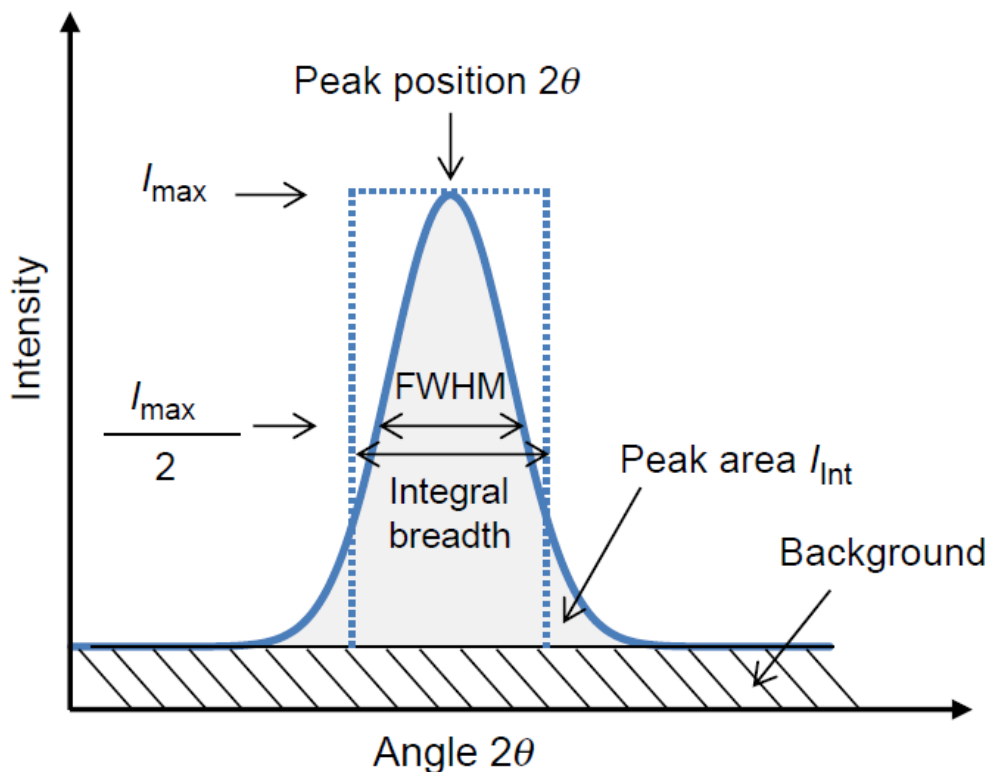
D = Crystallite size (nm)

K = 0,9 (Scherrer constant)

λ = 0,15406 nm (Panjang gelombang X-ray) (nm)

β = FWHM (Full Width at Half Maximum) (rad)

θ = Peak Position (rad)

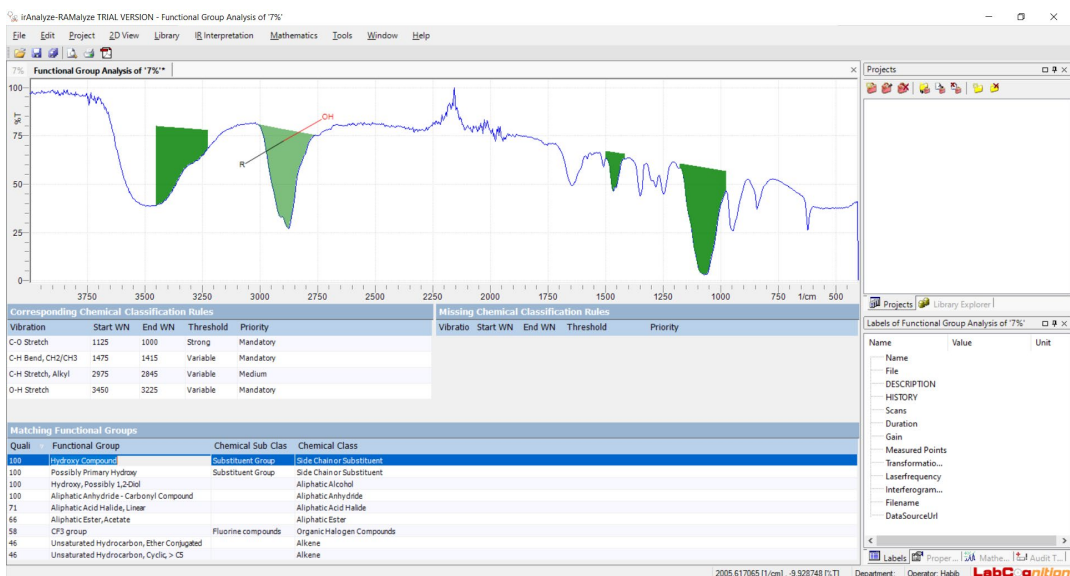
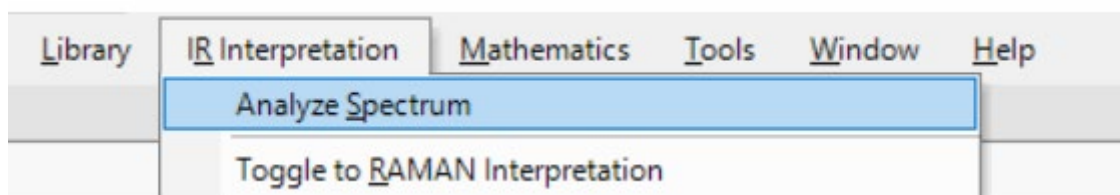


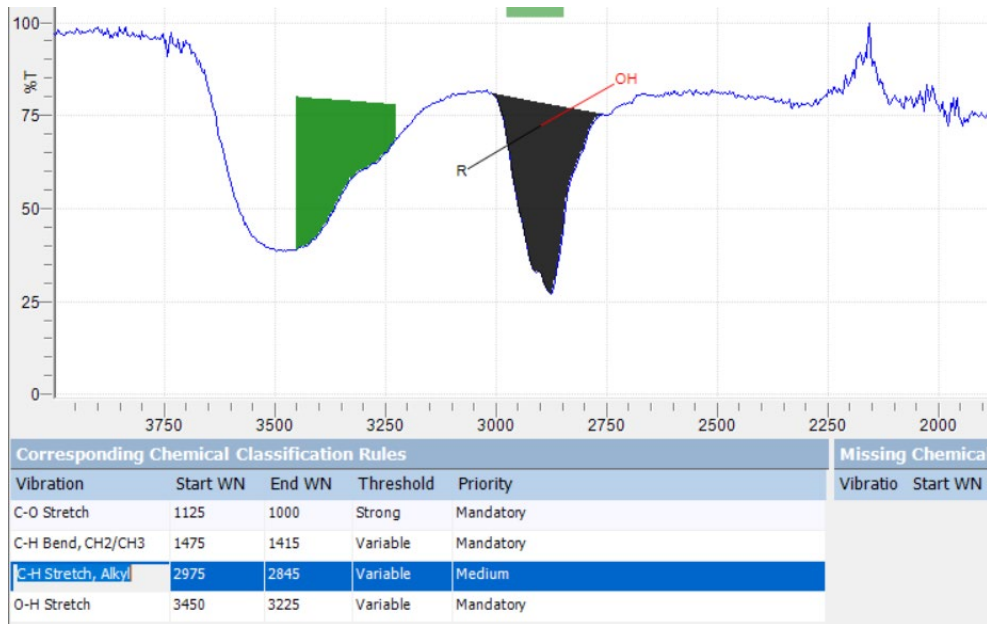
Gambar 4.11 Grafik XRD yang Berisi Peak dan Informasi Lainnya.

Tabel 4.4 yang berisi keberadaan puncak dan *crystallite size* dapat dianalisa menggunakan rumus *Scherrer* 4.3 dengan representasi puncak baik kedudukan pada 2θ dan intensitas ketinggian tertentu serta FWHM yang merupakan lebar puncak yang dihitung dari ketinggian total puncak (Epp, 2016) seperti pada gambar 4.11. Hasil perhitungan memberikan keterangan bahwa semua variasi spesimen memiliki ukuran kristal yang berbeda beda. Spesimen SPE murni memiliki ukuran kristal terbesar berukuran 80,23 nm, SPE+3% epoxy sebesar 96,4 nm, dan kedua variasi lainnya memiliki ukuran kristal yang sama yakni 89,68 nm. Dari tabel 4.4 dapat dianalisa juga bahwa orientasi kristal secara keseluruhan tidak mengalami perubahan yang signifikan, yakni pada $2\theta = 19,0-22,0^\circ$.

4.5 Karakterisasi spesimen menggunakan *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

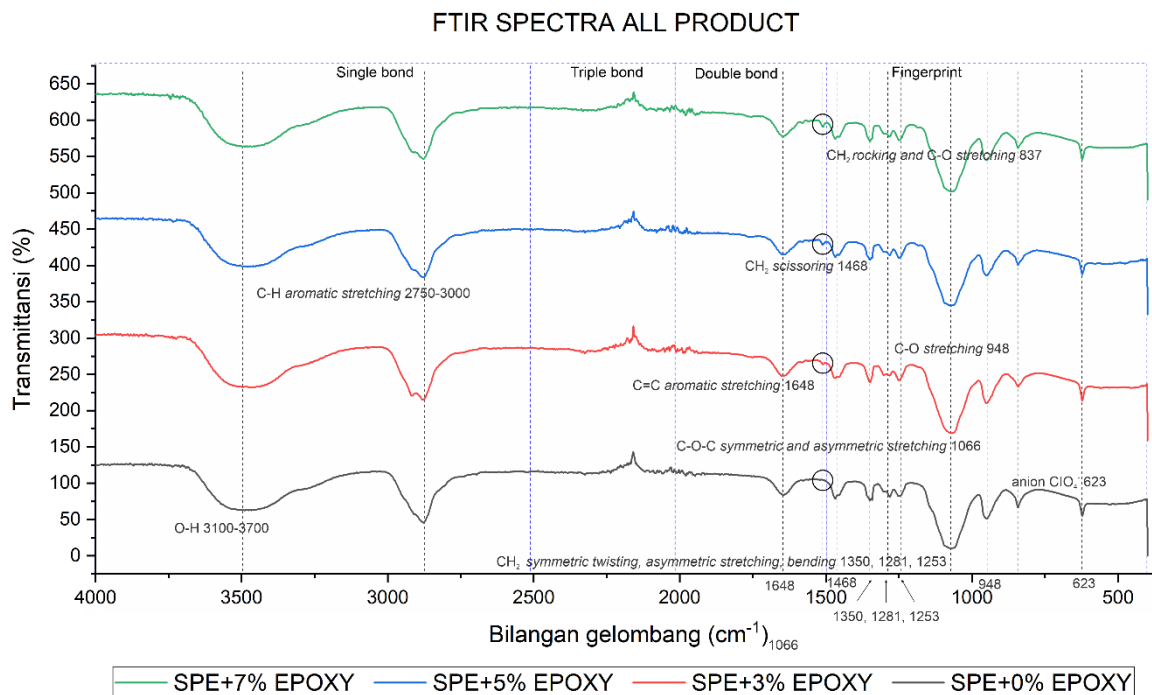
Karakterisasi FTIR dilakukan dengan tujuan untuk verifikasi produk dan prekursor dari gugus fungsi spesimen yang telah dibuat secara kualitatif, untuk preparasi spesimen sendiri sama dengan preparasi karakterisasi XRD, adapun FTIR dilakukan dengan menggunakan spektrum sepanjang $400-4000\text{ cm}^{-1}$. Berikut adalah metode analisa yang digunakan serta grafik spektrum IR produk dan prekursor yang hasil analisa.





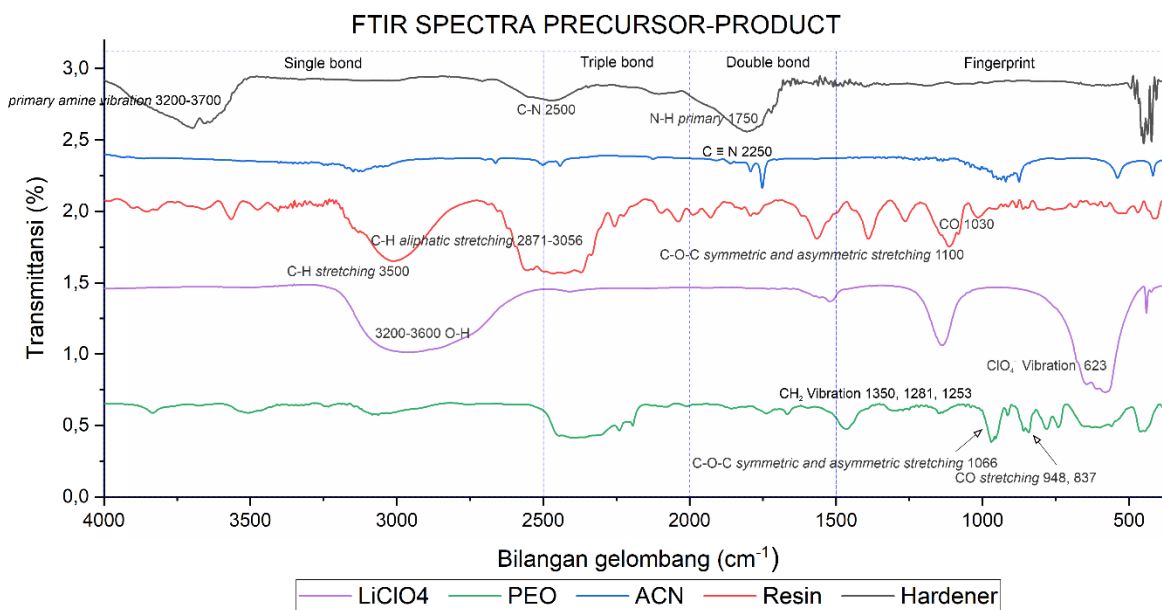
Gambar 4.12 Analisa spektrum FTIR dengan bantuan software irAnalyze-Ramalyze.

Untuk mempermudah analisa ikatan kimia baik organik maupun anorganik maka digunakan *software* “irAnalyze-Ramalyze” yang dapat mendeteksi jenis ikatan dari *peak* atau fenomena apapun yang ditemui pada spektrum grafik. Pada gambar 4.12 dengan menggunakan perintah *analyze spectrum* pada menu toolbar *IR Interpretation* kita dapat melihat semua fenomena dan arti dari grafik spektrum yang telah teranalisa.



Gambar 4.13 Spektra FTIR dari Spesimen dengan Warna Garis Masing Masing.

Dalam proses reaksi polimerisasi, Bisphenol A epoxy resin (DGBEA) dengan Polyetylen Oxide merupakan reaksi pembukaan gugus epoksi oleh alkohol dari gugus PEO. LiClO_4 berperan sebagai elektrolit, dimana Li^+ berinteraksi dengan atom oksigen dari gugus eter atau alkohol membentuk interaksi ion-dipol. Acetonitril berperan sebagai pelarut. Dari gambar 4.13 dapat dilihat terdapat puncak-puncak yang khas dari senyawa produk yakni adanya vibrasi gugus O-H yang melebar pada bilangan gelombang 3100-3700 cm^{-1} , vibrasi gugus C-H aromatik (*stretching*) pada bilangan gelombang 2750-3000 cm^{-1} , vibrasi C=C aromatik (*stretching*) pada bilangan gelombang 1648 cm^{-1} , vibrasi gugus CH_2 (*bending, asymmetric stretching, symmetric twisting*) pada bilangan gelombang 1350, 1281, dan 1253 cm^{-1} , vibrasi gugus C-O-C (*symmetric and asymmetric stretching*) pada 1066 cm^{-1} , vibrasi gugus C-O (*stretching*) pada bilangan gelombang 948 cm^{-1} , vibrasi gugus CH_2 (*scissoring*) pada bilangan gelombang 1468 cm^{-1} , vibrasi gugus CH_2 (*rocking*) yang berinteraksi dengan peregangan C-O (*stretching*) pada bilangan gelombang 837 cm^{-1} , puncak pada bilangan gelombang 623 cm^{-1} merupakan puncak dari anion ClO_4^- sebagai konfirmasi interaksi garam dengan polimer. Berdasarkan analisis FTIR produk telah sesuai dengan konfirmasi struktur pada gambar 4.13 Selain itu secara keseluruhan hasil FTIR dari penelitian ini memiliki pola yang sama dengan jurnal sitasi milik *Jinisha et al., 2018*.



Gambar 4.14 Spektra FTIR dari prekursor pendiri produk SPE+epoxy.

Dari spektrum prekursor yang ada juga dilakukan karakterisasi FTIR dengan hasil grafik gambar 4.14, namun dikarenakan waktu yang tidak memungkinkan maka pengambilan data FTIR dari prekursor dilakukan di departemen kimia Institut Teknologi Bandung, grafik FTIR prekursor memiliki ketidak tepatan koordinat panjang bilangan gelombang pada material selain *hardener* karena terjadi loncatan data ketika dibuat *plotting* grafik, berikut untuk hasil FTIR dari prekursor yang telah dilakukan, untuk PEO yang memiliki vibrasi gugus CH_2 (*bending, asymmetric stretching, symmetric twisting*) pada bilangan gelombang 1350, 1281, dan 1253 cm^{-1} , vibrasi gugus C-O-C (*symmetric and asymmetric stretching*) pada 1066 cm^{-1} , vibrasi gugus C-O (*stretching*) pada bilangan gelombang 948 cm^{-1} , vibrasi gugus CH_2 (*rocking*) yang berinteraksi dengan peregangan C-O (*stretching*) pada bilangan gelombang 837 cm^{-1} . Selanjutnya material LiClO_4 terdapat vibrasi anion ClO_4^- pada bilangan gelombang 623 cm^{-1} , adanya puncak pada daerah 3200-3600 cm^{-1} akibat dari LiClO_4 yang bersifat higroskopis atau

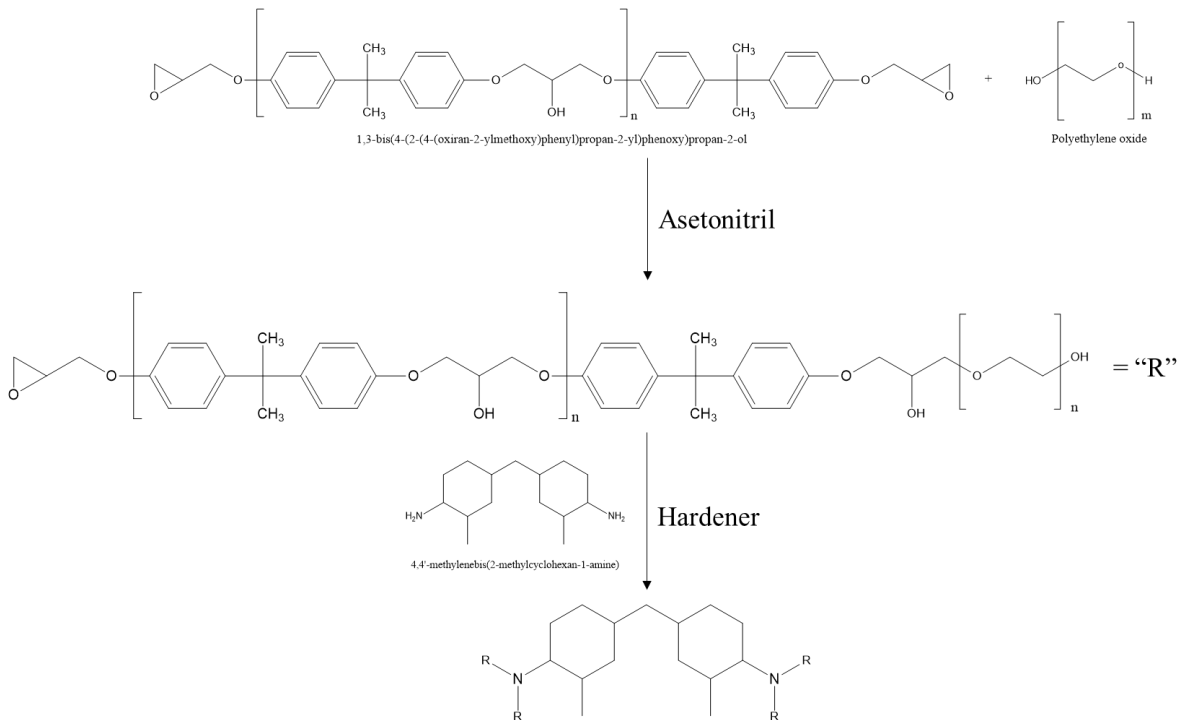
mengikat uap air. Spektrum berwarna merah atau resin terdapat vibrasi gugus C-H (*stretching*) aromatik pada bilangan gelombang 3500 cm^{-1} , vibrasi gugus C-H alifatik (*stretching*) pada bilangan gelombang 2871-3056 cm^{-1} , vibrasi gugus C-O-C (*symmetric and asymmetric stretching*) pada bilangan gelombang 1100 cm^{-1} , vibrasi gugus C-O pada bilangan gelombang 1030 cm^{-1} (*stretching*). Untuk *hardener* atau spektrum berwarna hitam terdapat vibrasi gugus amina primer 3200-3700 cm^{-1} , puncak kembar menunjukkan bahwa amina tersebut primer, vibrasi gugus N-H primer pada daerah 1750 cm^{-1} , dan vibrasi gugus C-N pada bilangan gelombang 2500 cm^{-1} . Dan untuk spektrum berwarna biru atau pelarut *acetonitrile* ditemukan vibrasi gugus $\text{C} \equiv \text{N}$ pada bilangan gelombang 2250 cm^{-1} .

4.6 Analisa reaksi keseluruhan

Berdasarkan FTIR yang telah dilakukan urutan reaksi dari prekursor yang menghasilkan produk dapat diketahui sebagai berikut:

Tabel 4.5 Tabel perbandingan perlakuan prosedur terhadap reaksi yang terjadi.

No.	Perlakuan	Reaksi kimia
1.	Penuangan dan pelarutan LiClO_4 dengan <i>Acetonitrile</i>	Pemecahan garam ionik LiClO_4 menjadi ion Li^+ dan ClO_4^- .
2.	Penuangan PEO ke larutan LiClO_4 <i>Acetonitrile</i>	Penguraian rantai polimer PEO padat menjadi rantai polimer panjang berbentuk gel.
3.	Pengadukan 6 jam	Terjadi interaksi antar molekul ion dipol antara Li^+ dan OH^- .
4.	Penguapan campuran keseluruhan	<i>Acetonitrile</i> menguap, campuran semakin memadat sehingga rantai polimer beserta ikatannya semakin kompak.
5.	Penambahan resin ke campuran keseluruhan	Rantai <i>epoxy</i> dari Bhispenol A terbuka dan mengikat PEO, dan berubah membentuk rantai polimer yang sangat panjang.
6.	Penuangan <i>hardener</i> ke campuran keseluruhan	Cycloaliphatic amine yang memiliki gugus NH_2 yang bersifat nukleofil (kaya elektron) akan masuk ke rantai panjang gugus <i>epoxy</i> yang bersifat elektrofil dan membukanya.
7.	Memasukkan campuran yang telah dicetak ke oven pada suhu 50°C selama 48 jam	Menguapkan <i>Acetonitrile</i> yang masih tersisa namun pada suhu jauh dari titik didih terendah prekursor, dalam hal ini <i>Acetonitrile</i> .



Gambar 4. 15 Gambar skematik perubahan rantai polimer PEO sebelum dan sesudah bereaksi dengan resin dan hardener (Hamerton et al., 2014).

Gambar 4.15 merupakan perubahan rantai polimer yang dijelaskan pada tabel 4.5 pada poin 2, 5, dan 6. Ketika proses pelarutan LiClO_4 dengan *acetonitrile* terjadi pemecahan garam ionik LiClO_4 menjadi ion Li^+ dan ClO_4^- , lalu ketika PEO dituangkan, terjadi interaksi antar molekul ion dipol antara Li^+ dari LiClO_4 dan OH^- dari PEO, dan ketika resin dicampurkan, rantai *epoxy* dari Bhispenol A terbuka dan mengikat PEO di tiap ujung yang kosong, dan berubah membentuk rantai polimer yang sangat panjang. Penambahan *cycloaliphatic amine* atau *hardener* yang memiliki gugus NH_2 yang bersifat nukleofil (kaya elektron) akan masuk ke rantai panjang gugus *epoxy* yang bersifat elektrofil dan membukanya. Terjadinya fenomena ikatan rantai polimer baru antara PEO-*epoxy* dimungkinkan merubah mikrostruktur rantai polimer yang semula hanya berisi ikatan antar PEO dan LiClO_4 berubah menjadi $\text{LiClO}_4 + \text{PEO} + \text{Epoxy}$ yang lebih kompak yang membuat peningkatan properti mekanik SPE.

4.7 Analisa Hasil

Berdasarkan proses produksi dan pengujian yang telah dilakukan serta data yang telah diproses maka berikut merupakan analisis secara keseluruhan. Pertama, hasil produksi spesimen memiliki metode produksi yang dapat dikatakan baik karena memiliki hasil yang konsisten, dengan ini metode produksi dapat digunakan sebagai acuan metode produksi di kemudian hari. Perbedaan yang dapat dianalisa secara kasat mata dari gambar 4.1 adalah, warna spesimen SPE Murni 0% *epoxy* memiliki warna yang bening, lalu menjadi semi pekat seperti yang terlihat pada spesimen SPE+3% *Epoxy* dan spesimen SPE+7% *Epoxy* merupakan spesimen paling pekat. Perbedaan fisik yang lain adalah spesimen SPE Murni 0% *epoxy* memiliki sifat lengket pada beberapa benda seperti sesama SPE ataupun benda-benda sekitar, namun berkebalikan dengan spesimen SPE+7% *Epoxy* yang tidak memiliki sifat lengket pada material yang sama, fenomena lengket ini disebabkan karena spesimen SPE+0% *epoxy* memiliki rantai polimer yang tidak lebih kompak daripada spesimen SPE+7% *Epoxy*, dan spesimen SPE+7% *Epoxy* memiliki kestabilan produk yang lebih baik.

Berdasarkan kekompakan rantai polimer yang dimiliki spesimen SPE+7% *Epoxy* menjadikan spesimen tersebut juga memiliki properti mekanik yang paling baik, yakni memiliki nilai yield point senilai 0,434 MPa, nilai tersebut merupakan nilai paling mendekati nilai yield point dari PEO murni dengan Mw 600.000 dari jurnal Moreno et al., 2011 senilai 0,7 MPa. Adapun spesimen SPE+0% *epoxy* memiliki nilai yield point senilai 0,35 MPa menyamai nilai yield point SPE murni (PEO)₁₆LiClO₄ senilai 0,35 MPa dari jurnal berjudul “*Thermal, electrical, and mechanical properties of (PEO)₁₆LiClO₄ electrolytes with modified montmorillonites*” oleh Fan et al., 2003.

Kenaikan properti mekanik dari SPE diiringi dengan adanya penambahan presentase *epoxy*, hal ini disebabkan oleh terjadinya ikatan polimer baru yang semula PEO termasuk polimer dengan rantai yang sangat panjang berubah menjadi lebih pendek namun berikatan silang sehingga menjadi material polimer yang lebih kompak. Kekompakan ini berperan dalam distribusi gaya ketika dilakukan pengujian tarik.

Gambar 4.8 merupakan hasil scanning electron microscope dari spesimen SPE+*epoxy*, berdasarkan jurnal karangan Wang et al., 2019, terutama pada gambar 2.2 e dan f memiliki kesamaan dengan gambar 4.6 E dan F, yakni *epoxy* melingkupi permukaan dari spesimen yang terlihat di gambar, fenomena ini juga dapat ditemukan pada spesimen SPE murni dan SPE+3% *epoxy*, dimana spesimen SPE murni memiliki rongga terbanyak dibanding spesimen lainnya. Keberadaan rongga ini dimungkinkan karena terdapat ikatan polimer yang belum kompak, keberadaan gelembung udara, atau *Acetonitrile* yang terperangkap pada saat proses penguapan. Pada gambar 4.8 A dan C terlihat keberadaan retakan yang dapat menjadi initial failure ketika menerima beban tertentu, keberadaan retakan ini tidak ditemukan pada gambar hasil pengamatan yang lain atau spesimen dengan tambahan *epoxy*, hal ini mendukung hipotesis adanya perubahan kekompakan rantai polimer yang menjadi lebih kompak.

Hasil SEM juga menunjukkan penambahan kadar *epoxy* yang diberikan semakin tidak terlihat struktur terjal yang terlihat pada SPE murni, besar kemungkinan apabila fenomena ini terjadi karena adanya lapisan atau filler baru yang berupa ikatan polimer *epoxy*, keberadaan lapisan ini mengakibatkan kemungkinan yakni lapisan *epoxy* menjadi filler yang berakibat menjadi penguat polimer ketika menerima beban berupa gaya tertentu, dari analisa keberadaan garam lithium secara fisik tidak ditemukan adanya garam di permukaan spesimen yang membentuk struktur spherical seperti pada fig. 2. a-f dari jurnal yang ditulis oleh Gurusiddappa et al., 2016, hal ini dapat disebabkan oleh pembesaran yang digunakan terlalu besar atau metode manufaktur yang berbeda, dalam hal ini jurnal sitasi tidak mencantumkan metode pembuatan spesimen mereka.

Hasil XRD yang telah dilakukan, pada $2\theta = 19,0-19,5$ terlihat puncak yang sangat tajam dan tinggi yakni senilai 998,17 dari spesimen SPE murni, namun pada grafik spesimen SPE+3% *Epoxy* puncak tersebut menjadi sangat rendah, sekitar 197,83, hal ini juga terjadi pada $2\theta = 23,12$ dengan ketinggian 102,39 menjadi hilang pada variasi SPE+3% *epoxy* dan kedua spesimen lainnya. Berdasarkan jurnal *Lim et al., 2017* hal tersebut terjadi karena LiClO_4 berikatan dengan polyethylene(oxide) sehingga sifat kristalinitasnya menghilang. Adapun data puncak dan *crystallite size* dapat dianalisa bahwa semua variasi spesimen memiliki ukuran kristal yang berbeda beda. Spesimen SPE murni memiliki ukuran kristal terbesar berukuran 80,23 nm, SPE+3% *epoxy* sebesar 96,4 nm, dan kedua variasi lainnya memiliki ukuran kristal yang sama yakni 89,68 nm. Dari tabel 4.4 dapat dianalisa juga bahwa orientasi kristal secara keseluruhan tidak mengalami perubahan yang signifikan, yakni pada $2\theta = 19,0-22,0^\circ$

Adapun guna memastikan kualitas kemurnian atau memastikan tidak adanya impurities maka dilakukan analisa FTIR untuk masing-masing prekursor serta produk, analisa FTIR menunjukkan bahwa tidak ditemukan adanya zat impurities pada produk ketika dibandingkan grafik spektrum prekursor dengan produk. Adapun untuk produk, dalam proses reaksi polimerisasi, Bisphenol A *epoxy* resin (DGBEA) dengan Polyetylen Oxide merupakan reaksi pembukaan gugus epoksi oleh alkohol dari gugus PEO. LiClO_4 berperan sebagai elektrolit, dimana Li^+ berinteraksi dengan atom oksigen dari gugus eter atau alkohol membentuk interaksi ion-dipol. Acetonitril berperan sebagai pelarut. Dari gambar 4.12 dapat dilihat terdapat puncak-puncak yang khas dari senyawa produk yakni adanya vibrasi gugus O-H yang melebar pada bilangan gelombang 3100-3700 cm^{-1} , vibrasi gugus C-H aromatik (*stretching*) pada bilangan gelombang 2750-3000 cm^{-1} , vibrasi C=C aromatik (*stretching*) pada bilangan gelombang 1648 cm^{-1} , vibrasi gugus CH_2 (*bending, asymmetric stretching, symmetric twisting*) pada bilangan gelombang 1350, 1281, dan 1253 cm^{-1} , vibrasi gugus C-O-C (*symmetric and asymmetric stretching*) pada 1066 cm^{-1} , vibrasi gugus C-O (*stretching*) pada bilangan gelombang 948 cm^{-1} , vibrasi gugus CH_2 (*scissoring*) pada bilangan gelombang 1468 cm^{-1} , vibrasi gugus CH_2 (*rocking*) yang berinteraksi dengan peregangan C-O (*stretching*) pada bilangan gelombang 837 cm^{-1} , puncak pada bilangan gelombang 623 cm^{-1} merupakan puncak dari anion ClO_4^- sebagai konfirmasi interaksi garam dengan polimer. Berdasarkan analisis FTIR produk telah sesuai dengan konfirmasi struktur pada gambar 4.13. Selain itu secara keseluruhan hasil FTIR dari penelitian ini memiliki pola yang sama dengan jurnal sitasi milik *Jinisha et al., 2018*. Selain itu berdasarkan spektrum yang telah dianalisa tidak terdapat spektrum yang mencerminkan kandungan Acentonitrile pada produk yang dapat mengakibatkan ketidak sempurnaan produk, terutama pada properti mekaniknya.

Perubahan rantai polimer yang dijelaskan pada tabel 4.5 pada poin 2, 5, dan 6. Ketika proses pelarutan LiClO_4 dengan *acetonitrile* terjadi pemecahan garam ionik LiClO_4 menjadi ion Li^+ dan ClO_4^- , lalu ketika PEO dituangkan, terjadi interaksi antar molekul ion dipol antara Li^+ dari LiClO_4 dan OH^- dari PEO, dan ketika resin dicampurkan, rantai *epoxy* dari Bisphenol A terbuka dan mengikat PEO di tiap ujung yang kosong, dan berubah membentuk rantai polimer yang sangat panjang. Penambahan *cycloaliphatic amine* atau *hardener* yang memiliki gugus NH_2 yang bersifat nukleofil (kaya elektron) akan masuk ke rantai panjang gugus *epoxy* yang bersifat elektrofil dan membukanya. Terjadinya fenomena ikatan rantai polimer baru antara PEO-*epoxy* dimungkinkan merubah mikrostruktur rantai polimer yang semula hanya berisi ikatan antar PEO dan LiClO_4 berubah menjadi $\text{LiClO}_4+\text{PEO}+\text{Epoxy}$ yang lebih kompak (*Hamerton et al., 2014*).

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan semua prosedur dan analisa hasil serta studi literasi yang telah dilakukan selama penelitian adalah sebagai berikut:

1. Efek penambahan *epoxy* pada elektrolit padat berbasis polimer menunjukkan bahwa terjadi peningkatan properti mekanik yakni *yield point*, *stiffness*, dan *toughness* di setiap kenaikan konsentrasi penambahan *epoxy*. Namun pada variasi SPE+3% *epoxy* grafik deformasi plastis $\pm 0,2$ MPa lebih rendah dibanding variasi SPE murni (0% *epoxy*). Adapun untuk pola deformasi yang terjadi pada spesimen memiliki kesamaan dengan laju deformasi material polimer dengan ciri khas pemanjangan rantai polimer setelah terjadinya *yield point*.
2. Pengamatan morfologi permukaan material dengan bantuan SEM menunjukkan bahwa spesimen SPE+7% *epoxy* memiliki permukaan yang cenderung rata dan halus, berbanding terbalik secara berurutan dengan spesimen 5%, 3%, dan 0%.
3. Lapisan *epoxy* menjadi filler yang berpotensi menjadi penguat polimer ketika menerima beban berupa gaya tertentu, dari analisa keberadaan garam lithium secara fisik tidak ditemukan adanya garam yang memiliki bentuk spherical di permukaan spesimen.
4. *X-Ray Diffraction* dari material spesimen menunjukkan adanya penurunan ketinggian puncak terdeteksi karena LiClO₄ berikatan dengan polyethylene(oxide) sehingga sifat kristalinitasnya menghilang.
5. Orientasi kristal secara keseluruhan tidak mengalami perubahan yang signifikan, yakni pada $2\theta = 19,0^\circ$ - $22,0^\circ$.
6. Pengamatan FTIR menunjukkan bahwa spektra prekursor dan produk memiliki kesesuaian gugus fungsi yang berarti tidak ditemukan gugus fungsi tambahan yang memasuki reaksi.
7. Berdasarkan spektra FTIR dapat disimpulkan terjadi pembentukan rantai polimer baru yang terdiri atas LiClO₄+PEO+*Epoxy*, dimana Li⁺ dan ClO₄⁻ berikatan dengan PEO di tiap ujung salah satu rantai, dan resin berikatan dengan PEO pada lengan gugus *epoxy*, lalu keberadaan *hardener* berguna untuk mengikat semua rantai Li:PEO:Resin sehingga menjadi rantai polimer yang kompak.
8. *Acetonitrile* tidak ditemukan dalam spektra FTIR yang telah dilakukan sehingga pemilihan metode produksi dapat dikatakan maksimal.

5.2 Saran

Berdasarkan evaluasi penelitian yang dilakukan selama tugas akhir ini dikerjakan, maka dengan tujuan untuk menunjang penelitian berikutnya penulis menyarankan untuk:

1. Pemilihan metode casting dapat diganti dengan metode yang lain agar bisa didapatkan spesimen yang lebih baik, terutama pada pertimbangan penggunaan *acetonitrile*.
2. Mempelajari efek penggunaan jenis garam ionik dalam sisi perubahan properti mekanik material.
3. Melakukan pengujian tarik *in-situ* dengan variabel tambahan seperti suhu guna melihat fenomena *tensile properties* lebih lanjut.
4. Melakukan pengamatan *in-situ test Raman Spectroscopy* guna mempelajari jenis ikatan dalam molekul karbon lebih detail.
5. Pemilihan metodologi penelitian harus dipertimbangkan sedemikian rupa dan melihat dari berbagai sudut pandang baik fisika, kimia dan mekanikal agar tercapai hasil yang maksimal namun tetap efisien.

6. Pemilihan variasi *epoxy* baik dari jenis maupun konsentrasi dapat dicoba untuk melihat hasil yang lebih baik.
7. Penggunaan *filler* organik dapat diterapkan agar dapat menciptakan *state of art* yang menarik serta terobosan material *biodegradable*.

Daftar Pustaka

- Asp, L. E., Bouton, K., Carlstedt, D., Duan, S., Harnden, R., Johannisson, W., Johansen, M., Johansson, M. K. G., Lindbergh, G., Liu, F., Peuvot, K., Schneider, L. M., Xu, J., & Zenkert, D. (2021). *A Structural Battery and its Multifunctional Performance*. *Advanced Energy and Sustainability Research*, 2(3), 2000093. <https://doi.org/10.1002/aesr.202000093>
- ASTM. (2017, February 28). *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. United States of America: ASTM International.
- Cheng, S. H. S., He, K. Q., Liu, Y., Zha, J. W., Kamruzzaman, M., Ma, R. L. W., Dang, Z. M., Li, R. K. Y., & Chung, C. Y. (2017). *Electrochemical performance of all-solid-state lithium batteries using inorganic lithium garnets particulate reinforced PEO/LiClO₄ electrolyte*. *Electrochimica Acta*, 253, 430–438. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.08.162>
- Daiwon Choi, W. W. (2011). *LITHIUM-ION BATTERIES Advanced Materials and Technologies*. Boca Raton: CRC Press.
- David Linden, T. B. (1995). *Handbook of batteries*. New York: McGraw-Hill.
- Durig, J. D. (2000). *Comparisons of epoxy technology for protective coatings and linings in wastewater facilities*. *Journal of Protective Coatings and Linings*, 17(5), 49–54.
- Epp, J. (2016). X-Ray Diffraction (XRD) Techniques for Materials Characterization. In *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100040-3.00004-3>
- Fan, L., Nan, C. W., & Li, M. (2003). *Thermal, electrical and mechanical properties of (PEO) 1 6LiClO 4 electrolytes with modified montmorillonites*. *Chemical Physics Letters*, 369(5–6), 698–702. [https://doi.org/10.1016/S0009-2614\(03\)00043-5](https://doi.org/10.1016/S0009-2614(03)00043-5)
- Fullerton-Shirey, S. K., & Maranas, J. K. (2009). *Effect of LiClO₄ on the structure and mobility of PEO-based solid polymer electrolytes*. *Macromolecules*, 42(6), 2142–2156. <https://doi.org/10.1021/ma802502u>
- Gonon, M. (2021). *Case Studies in the X-ray Diffraction of Ceramics*. Dalam M. Gonon, *Encyclopedia of Materials: Technical Ceramics and Glasses* (hal. 560-577). Elsevier.
- Gurusiddappa, J., Madhuri, W., Padma Suvarna, R., & Priya Dasan, K. (2016). *Studies on the morphology and conductivity of PEO/LiClO₄*. *Materials Today: Proceedings*, 3(6), 1451–1459. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2016.04.028>
- Haile, S. M. (2008). *Introduction to Materials Science and Engineering Introduction to Materials Science and Engineering*, Yip-Wah Chung, CRC Press/Taylor & Francis, Boca Raton, FL, 2007. \$99.95 (287 pp.). ISBN 978-0-8493-9263-4. *Physics Today*, 61(9), 66–68. <https://doi.org/10.1063/1.2982126>
- Hamerton, I., Tang, W., Anguita, J. V., & Silva, S. R. P. (2014). *Towards the rational design of polymers using molecular simulation: Predicting the effect of cure schedule on thermo-mechanical properties for a cycloaliphatic amine-cured epoxy resin*. *Reactive and Functional Polymers*, 74(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2013.10.005>
- JEOL. (t.thn.). *Scanning electron microscope A to Z-basic knowledge for using the SEM*. JEOL Company Ltd.
- Jinisha, B., Femy, A. F., Ashima, M. S., & Jayalekshmi, S. (2018). *Polyethylene oxide (PEO) / polyvinyl alcohol (PVA) complexed with lithium perchlorate (LiClO₄) as a prospective material for making solid polymer electrolyte films*. *Materials Today: Proceedings*, 5(10), 21189–21194. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.518>
- Kirk, R. E., and Othmer, D. F. (1953). *Encyclopedia of Chemical Technology Vol. 2*. The Encyclopedia, Inc; New York.

- Kozo Matsumoto, T. E. (2008). *Confinement of Ionic Liquid by Networked Polymers Based on Multifunctional Epoxy Resins*. *Macromolecules*, 6981-6986.
- Lim, C.-S., H. Teoh, K., M. Ng, H., Liew, C.-W., & Ramesh, S. (2017). *Ionic conductivity enhancement studies of composite polymer electrolyte based on poly (vinyl alcohol)-lithium perchlorate-titanium oxide*. *Advanced Materials Letters*, 8(4), 465–471. <https://doi.org/10.5185/amlett.2017.1410>
- Materials, P., Materials, E. I., Matrix, P., Materials, C., & Specimens, P. (2006). *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics I*. 03(January 2004), 1–15.
- Mohan L. Verma, B. K. (2017). *Ab initio study of mechanical strength of solid polymer electrolyte (PEO)5LiClO4*. *Ionics*, 2715-2720.
- Moreno, M., Quijada, R., Santa Ana, M. A., Benavente, E., Gomez-Romero, P., & González, G. (2011). *Electrical and mechanical properties of poly(ethylene oxide)/intercalated clay polymer electrolyte*. *Electrochimica Acta*, 58(1), 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.08.096>
- MTS Exceed Series 40 Electromechanical Universal Test Systems*. (n.d.).
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). *How to read and interpret ftir spectroscopy of organic material*. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97–118. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>
- Polymers for aerospace structures*. (2012). *Introduction to Aerospace Materials*, 268–302. <https://doi.org/10.1533/9780857095152.268>
- Roy, A. (2018). *Development of an All Vanadium Redox Flow Battery for Efficient Utilization of Renewable Energy*. IEST, Shibpur, June. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23646.95047>
- Rui Xiong, W. S. (2019). *Advanced Battery Management Technologies for Electric Vehicles*. Hoboken: John Wiley & Sons Ltd.
- Sandra Wappelhorst, F. R. (2021, AUGUST 26). *GLOBAL OVERVIEW OF GOVERNMENT TARGETS FOR PHASING OUT INTERNAL COMBUSTION ENGINE MEDIUM AND HEAVY TRUCKS*. Diambil kembali dari The International Council On Clean Transportation: <https://theicct.org/global-overview-of-government-targets-for-phasing-out-internal-combustion-engine-medium-and-heavy-trucks/>
- Sebastian Gramstat, S. H. (2019). *EVC1000 Electric Vehicle Components for 1000 km daily trips*.
- Siti Nor Farhana Yusuf, A. K. (t.thn.). *Polymer Electrolytes for Lithium Ion Batteries and Challenges: Part II*. 201-230.
- Smith, B. C. (2011). *Fundamentals of fourier transform infrared spectroscopy, second edition*. *In Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy, Second Edition*.
- Wang, Y., Qiao, X., Zhang, C., & Zhou, X. (2019). *Development of structural supercapacitors with epoxy based adhesive polymer electrolyte*. *Journal of Energy Storage*, 26(August), 100968. <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100968>
- WARDHANI, A. S. (2017). *STUDI KONDUKTIVITAS SOLID POLYMER ELECTROLYTE (SPE) PEO (POLY ETHYLENE OXIDE) - LiClO4 (LITHIUM PERCHLORATE) DENGAN FLY ASH DARI PT.TJIWI KIMIA SIDOARJO. SURABAYA: DEPARTEMEN KIMIA FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA*.
- William D. Callister, D. G. (2010). *Materials Science and Engineering: An Introduction, Eighth Edition*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Xu, K. (2004). *Nonaqueous liquid electrolytes for lithium-based rechargeable batteries*. *Chemical Reviews*, 104(10), 4303–4417. <https://doi.org/10.1021/cr030203g>

Yuchen Wang, X. Q. (2019). *Development of structural supercapacitors with epoxy based adhesive polymer electrolyte*. Journal of Energy Storage.

Halaman sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Spesimen Hasil Pengujian



Spesimen SPE+0% epoxy.

Terdapat fenomena kemunculan gelembung karena proses pelapisan plastik pelindung setelah pengujian yang kurang sempurna.



Spesimen SPE+3% epoxy.

Spesimen hasil pengujian terlihat pola patahan yang bervariasi lokasinya,



Spesimen SPE+5% epoxy.

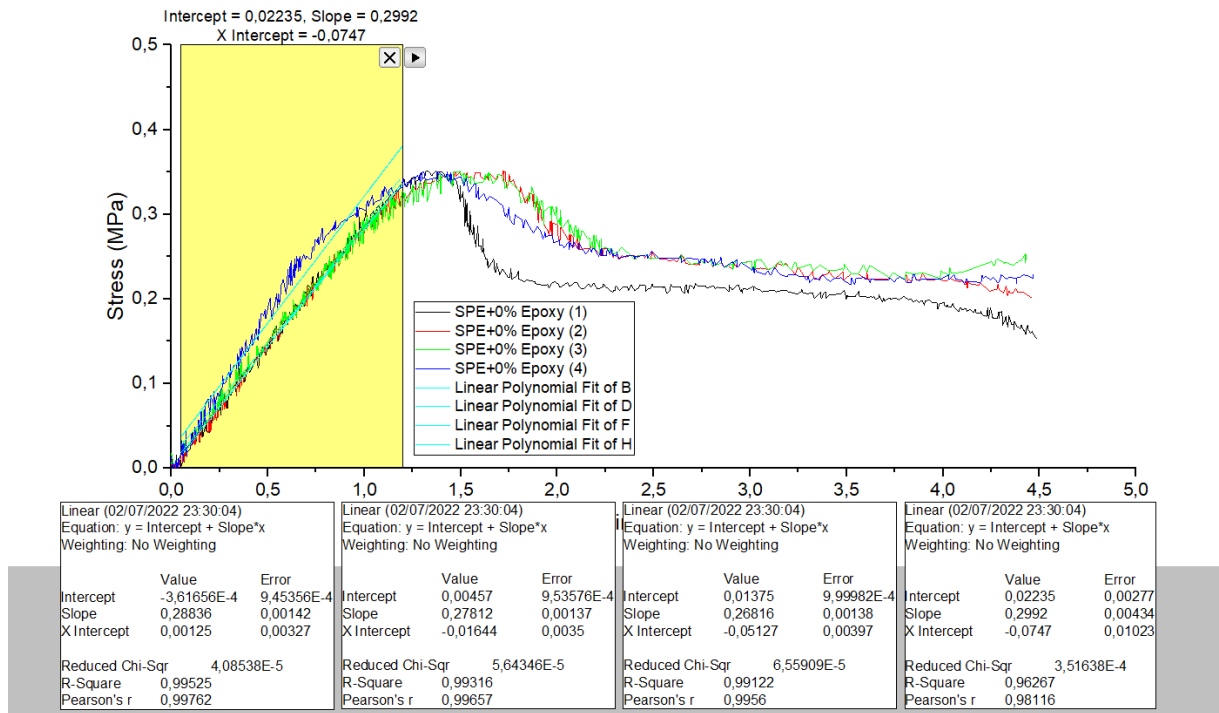
Spesimen hasil pengujian terlihat pola patahan yang bervariasi lokasinya.



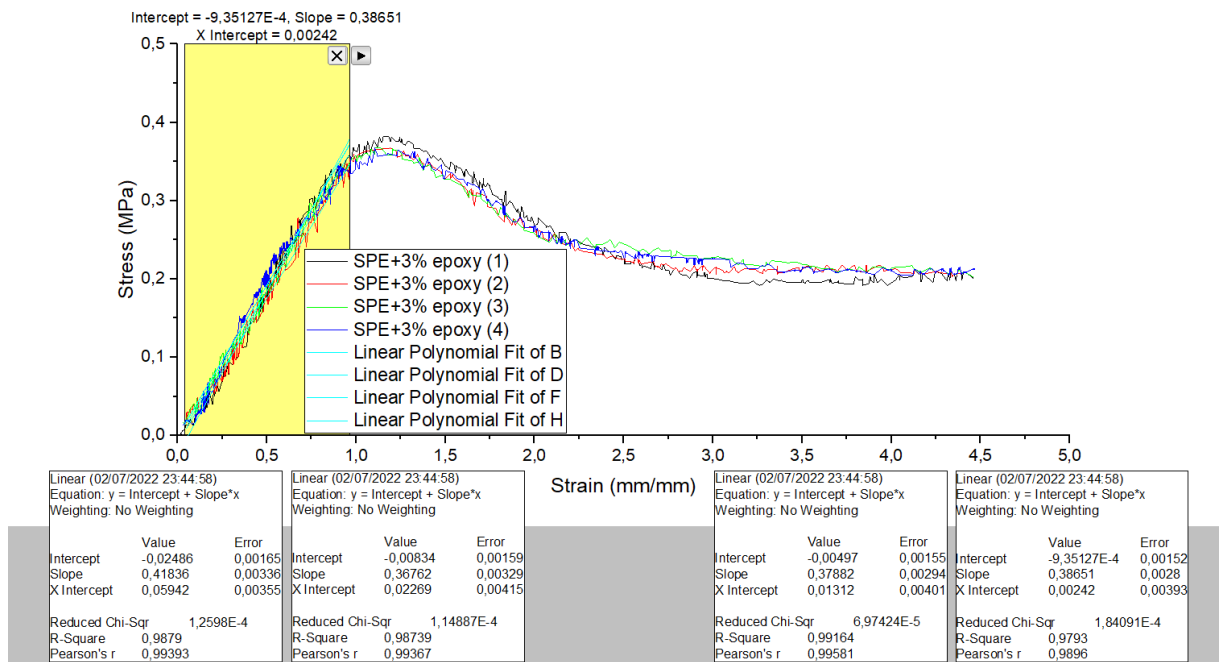
Spesimen SPE+7% epoxy.

Spesimen hasil pengujian terlihat pola patahan yang bervariasi lokasinya.

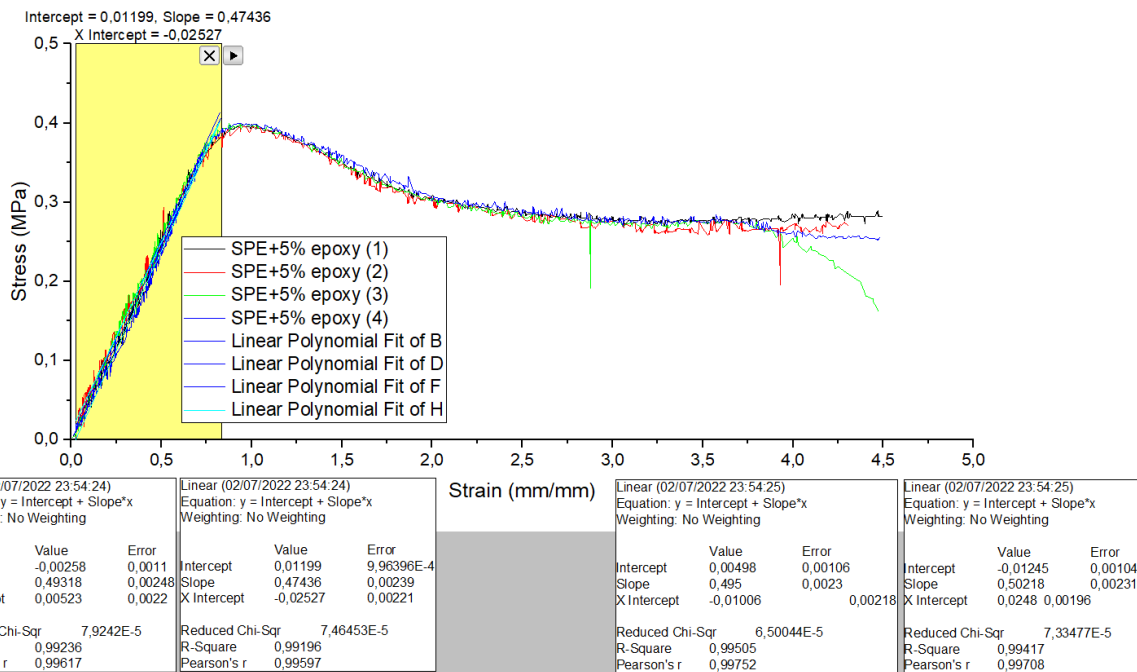
Grafik Stress Strain serta Modulus Elastisitas Spesimen Kotak dibawah grafik merupakan hasil linear



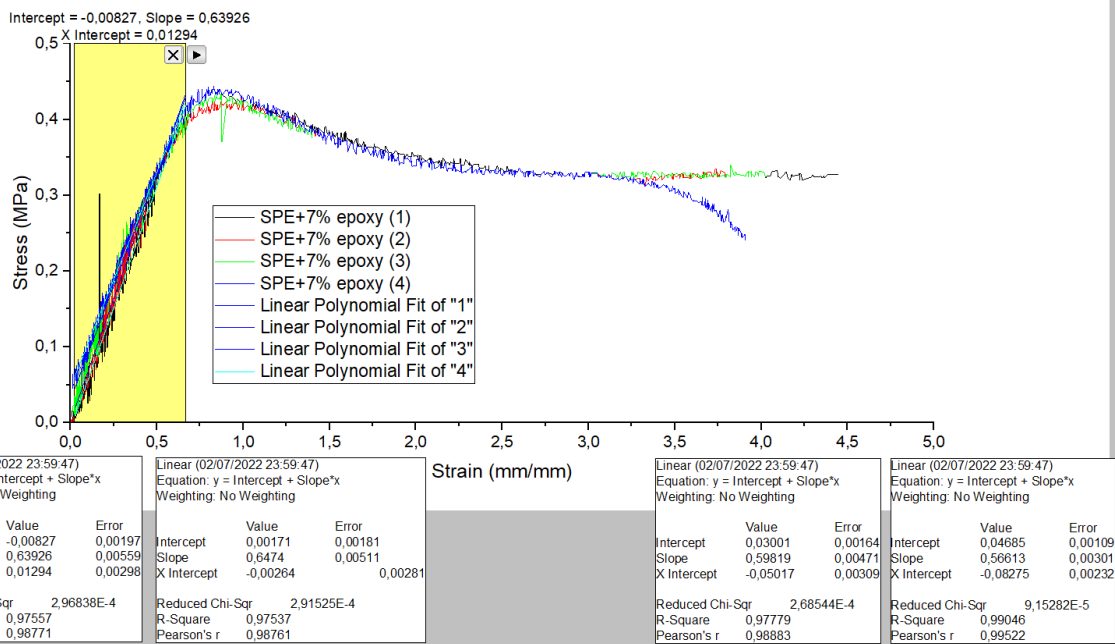
Spesimen SPE+0% epoxy.



Spesimen SPE+3% epoxy.

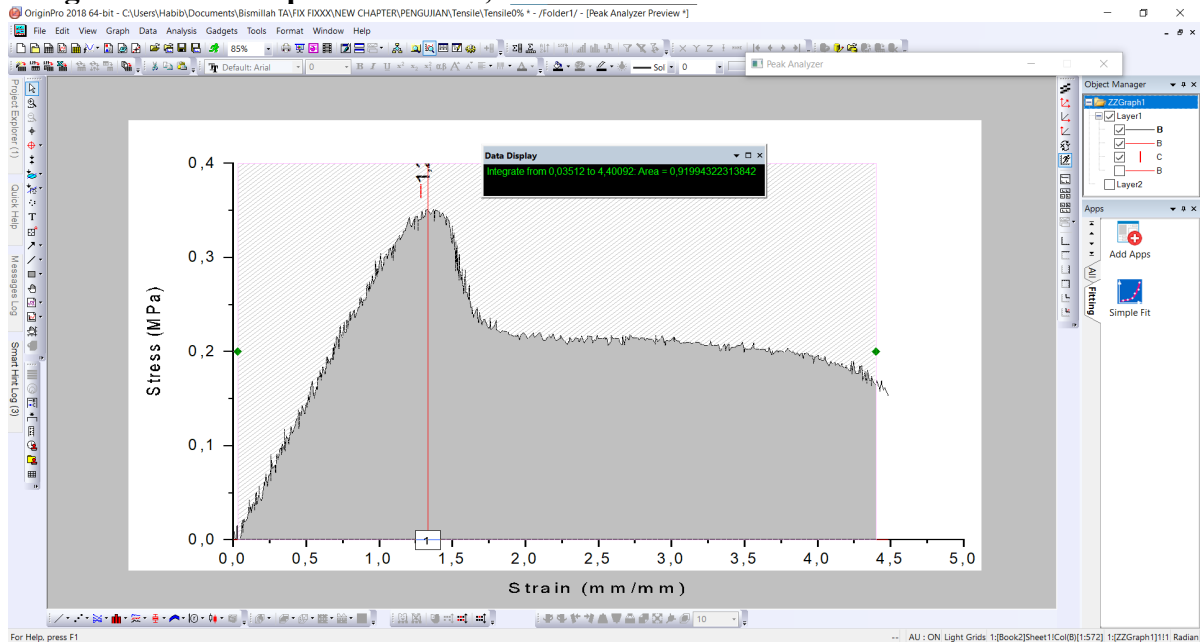


Specimen SPE+5% epoxy.

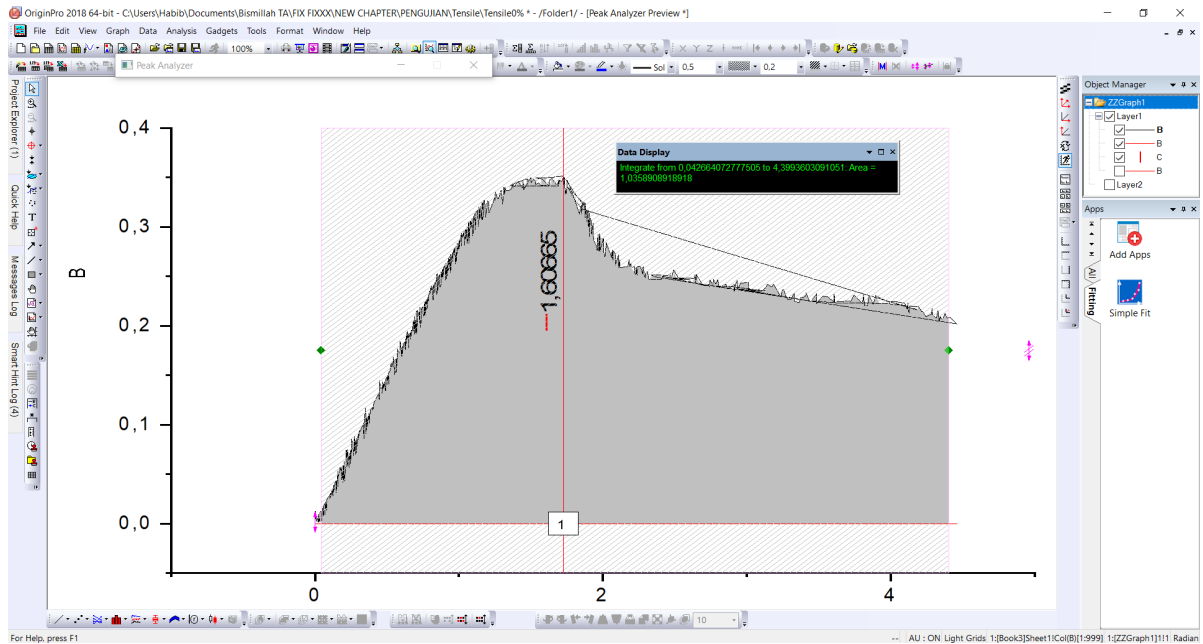


Specimen SPE+7% epoxy.

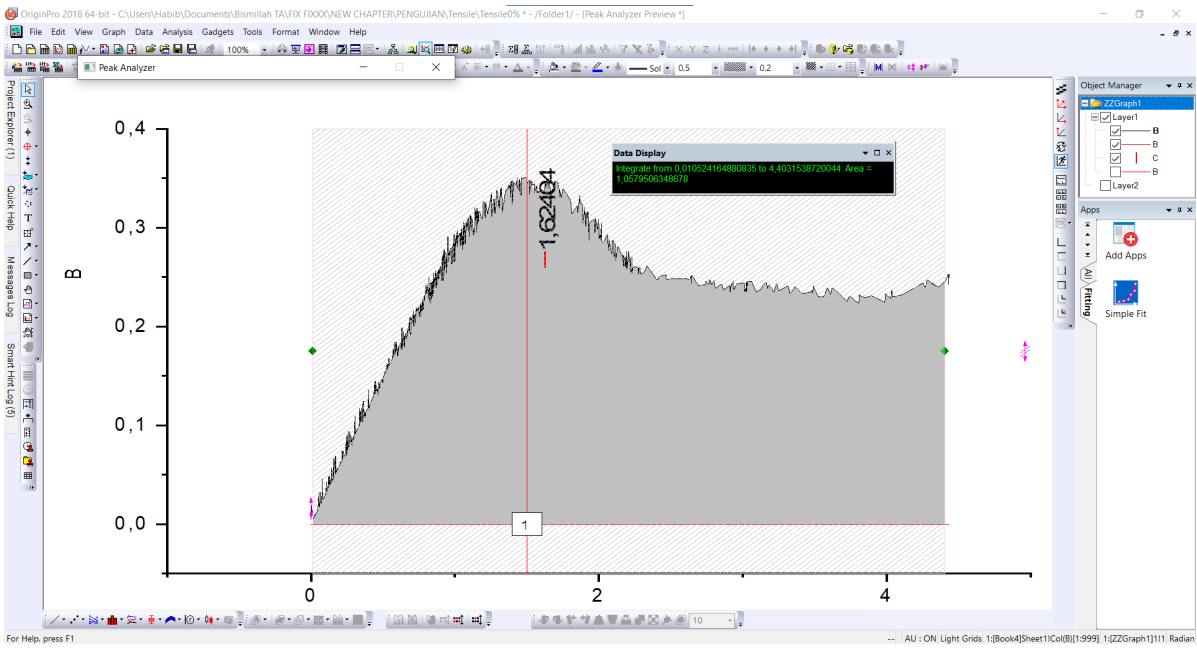
Toughness material pada strain : 4,4mm/mm



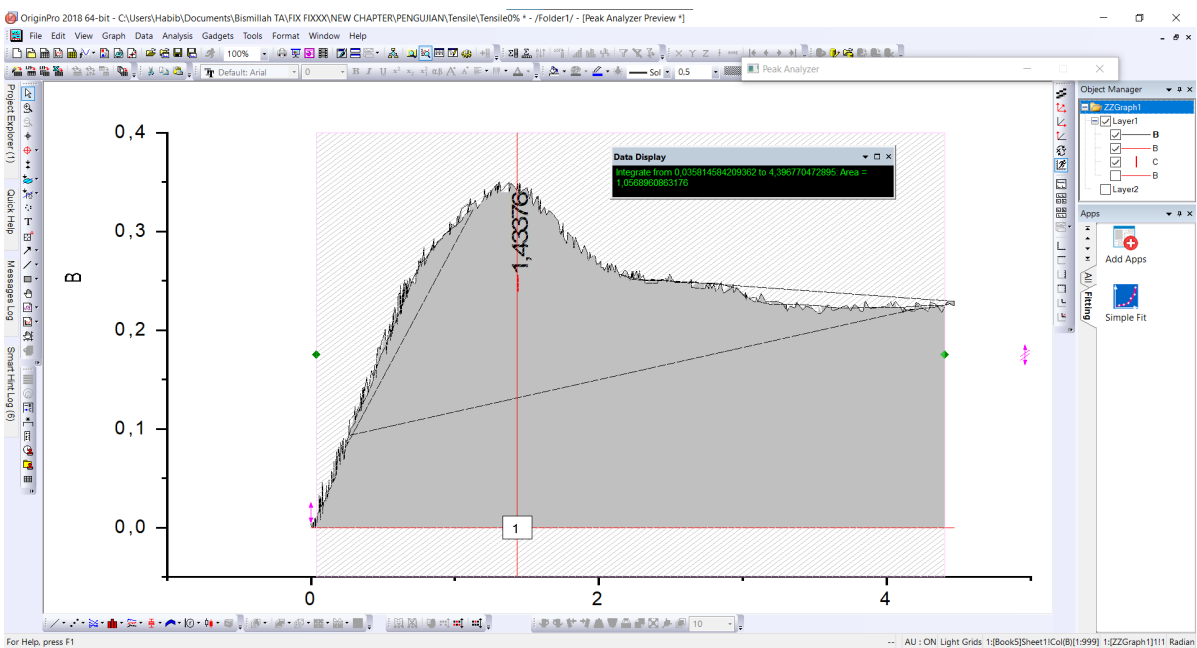
Toughness spesimen 0%-1



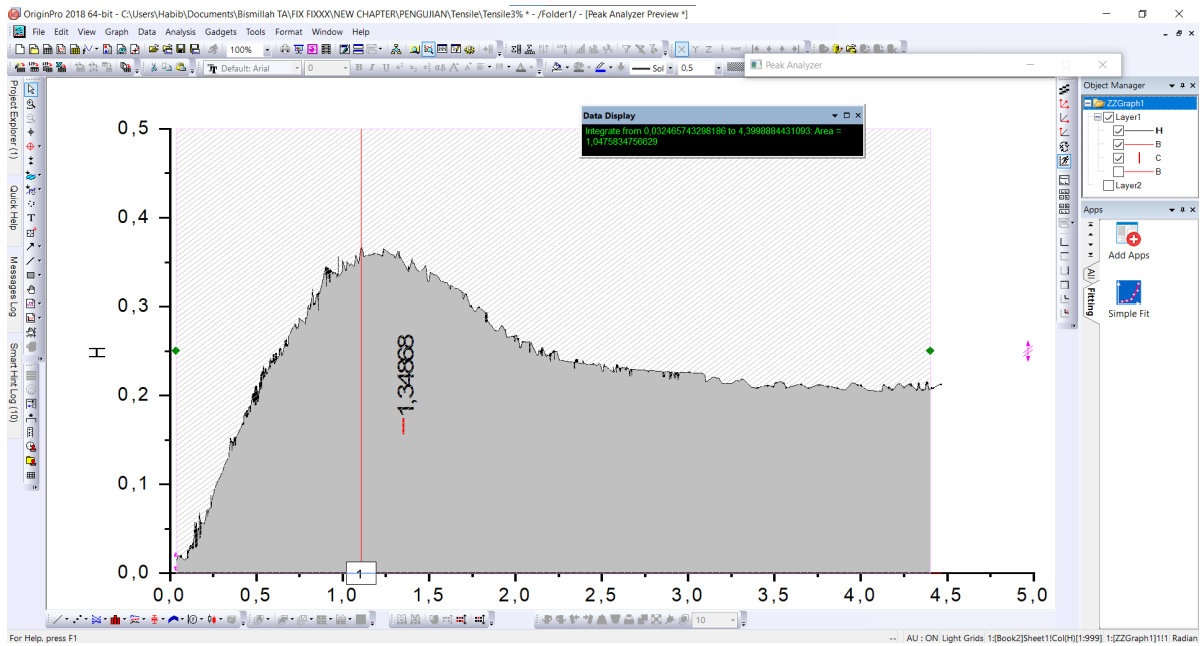
Toughness spesimen 0%-2



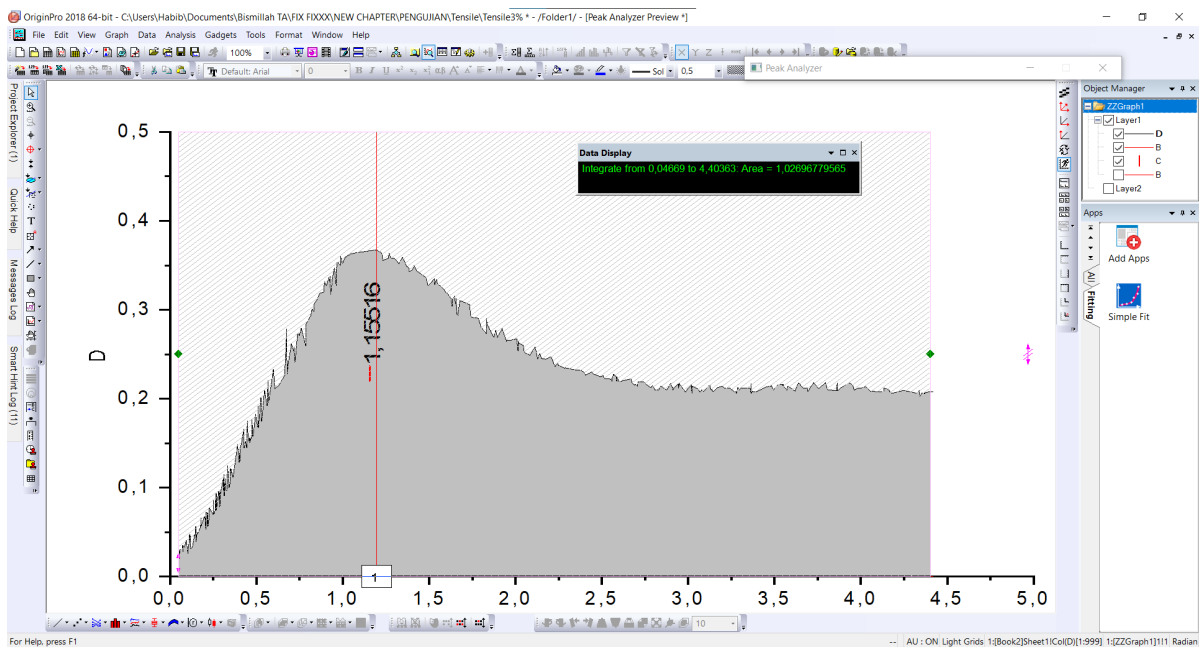
Toughness spesimen 0%-3



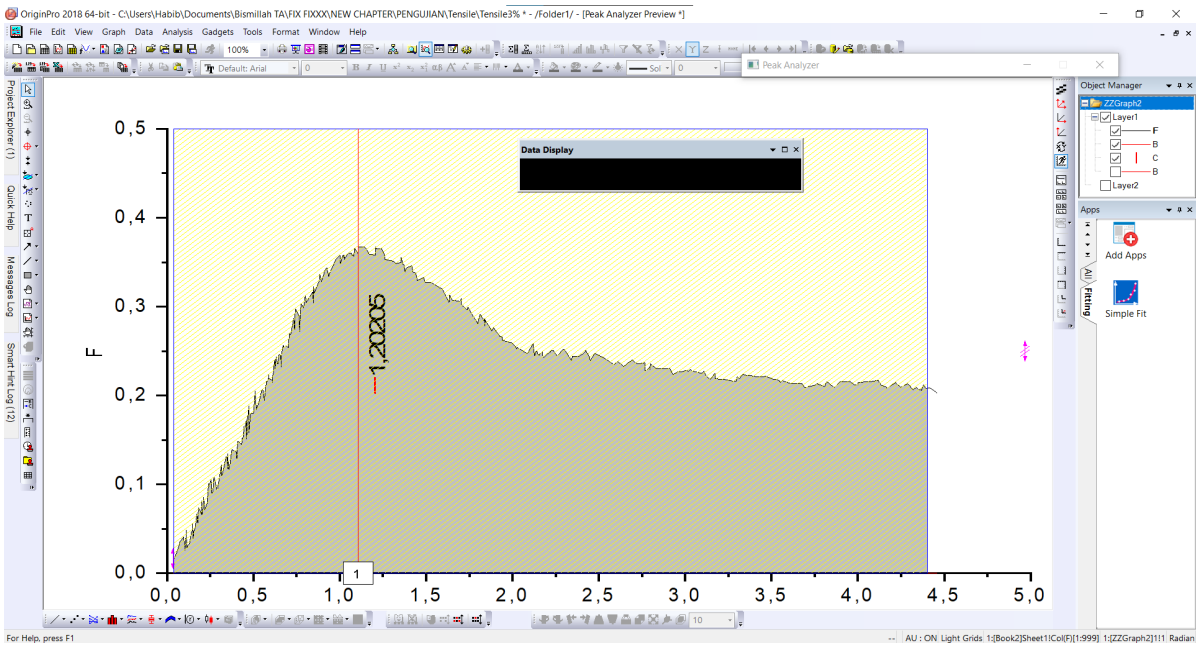
Toughness spesimen 0%-4



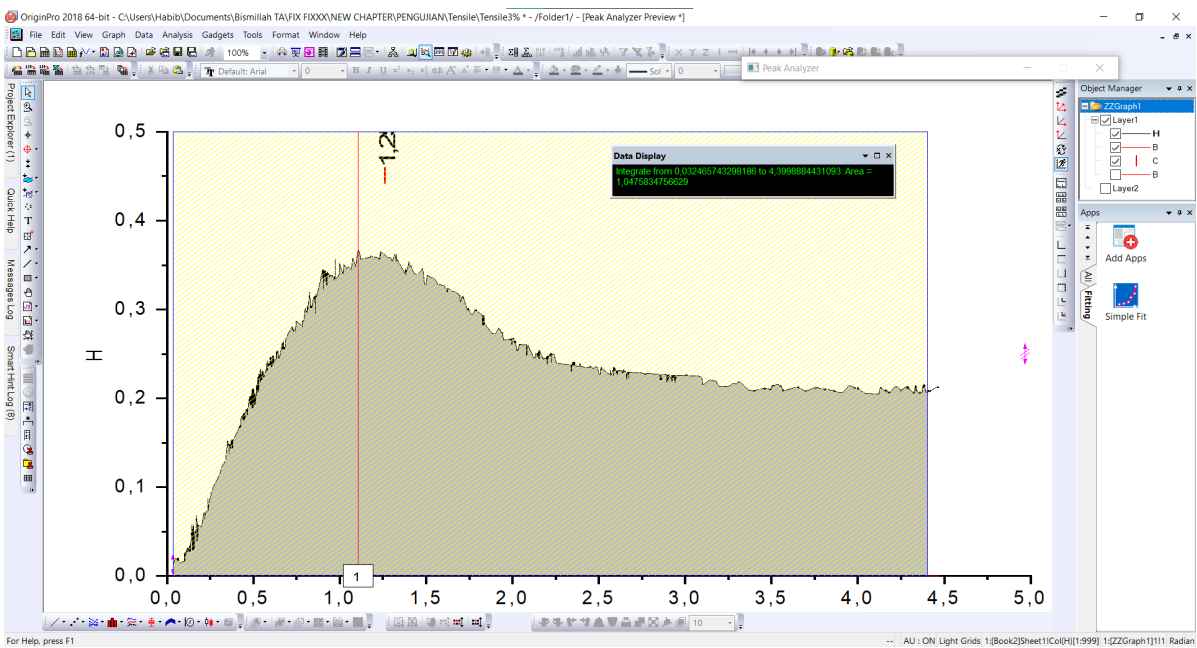
Toughness spesimen 3%-1



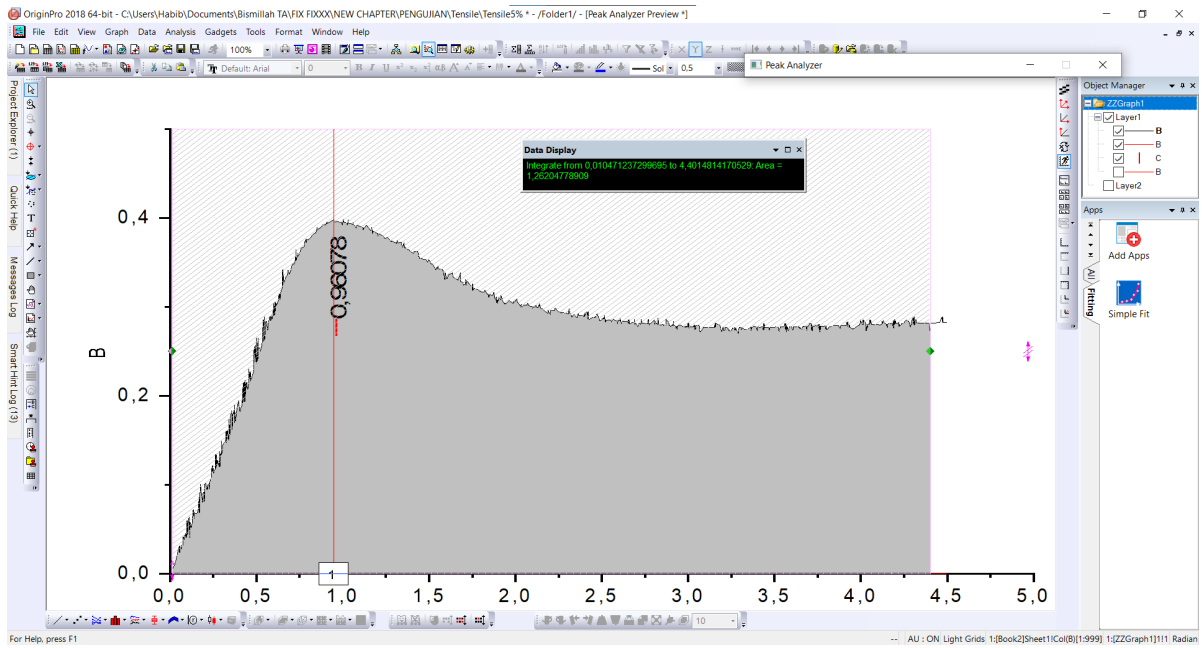
Toughness spesimen 3%-2



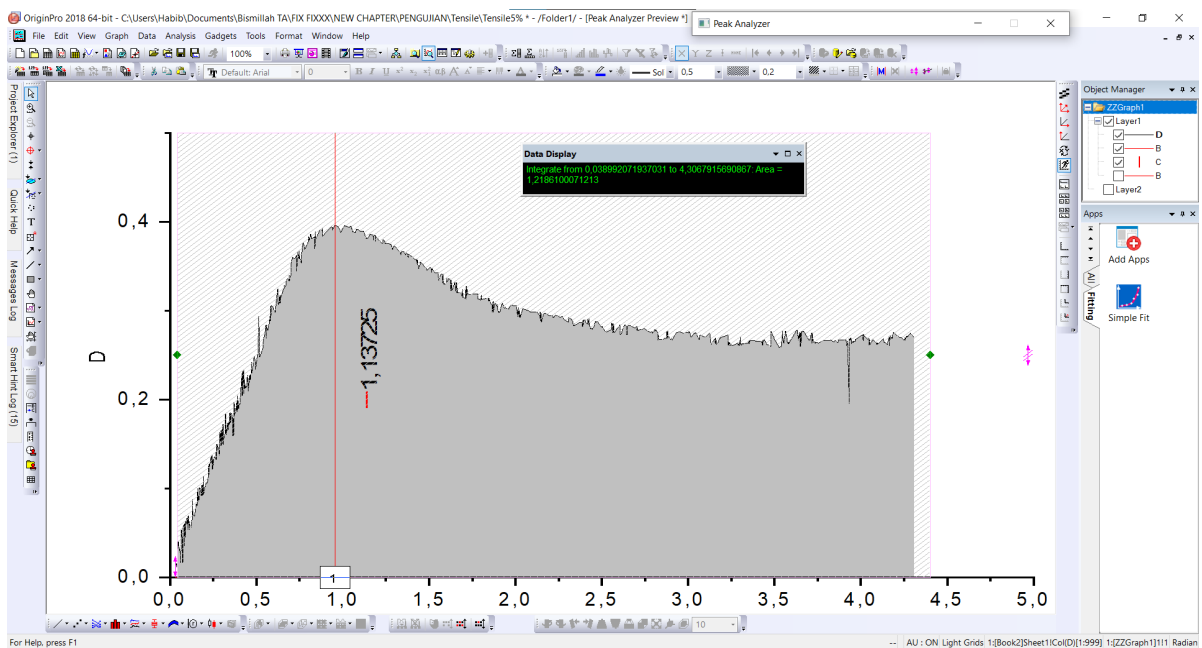
Toughness spesimen 3%-3



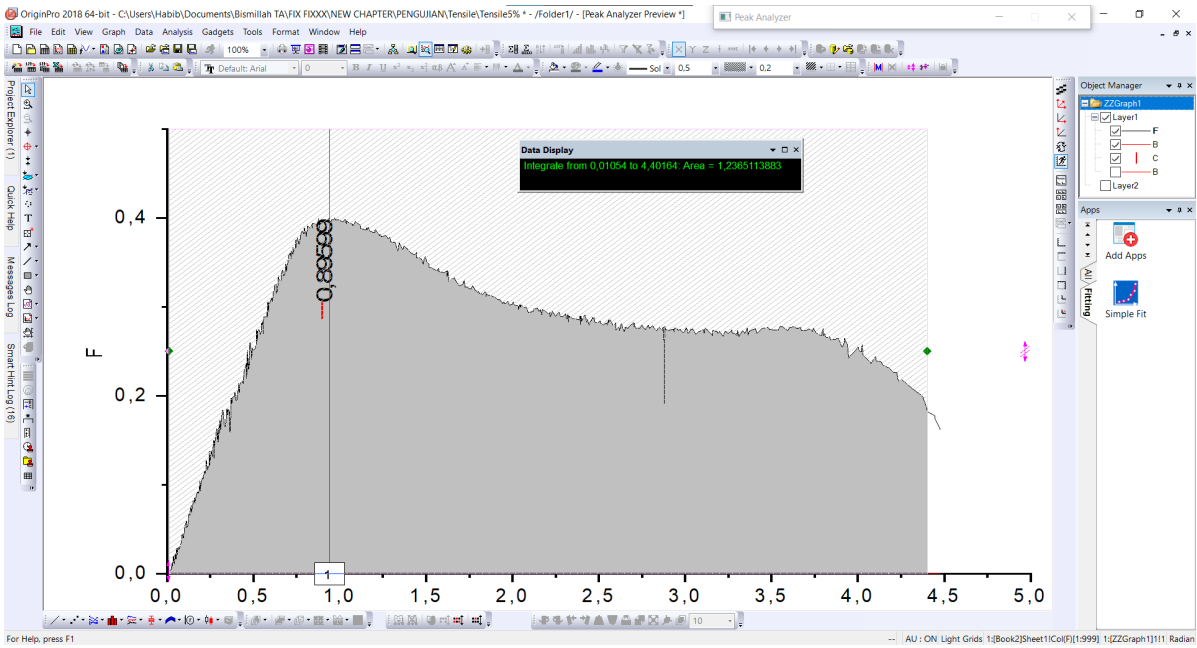
Toughness spesimen 3%-4



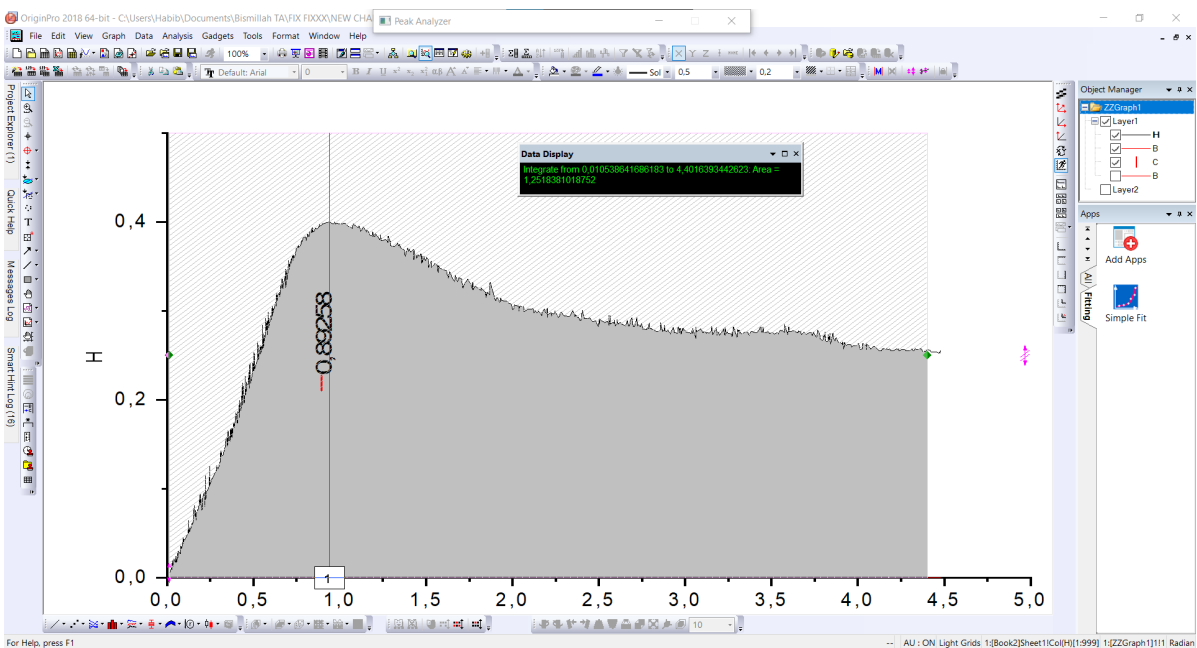
Toughness spesimen 5%-1



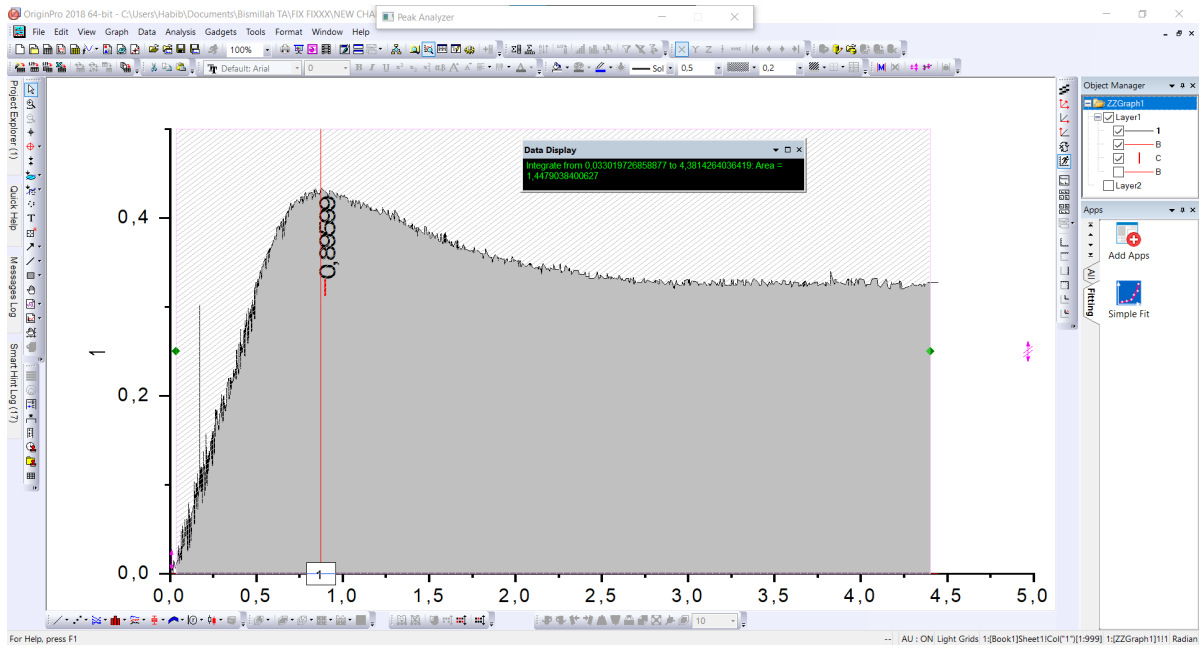
Toughness spesimen 5%-2



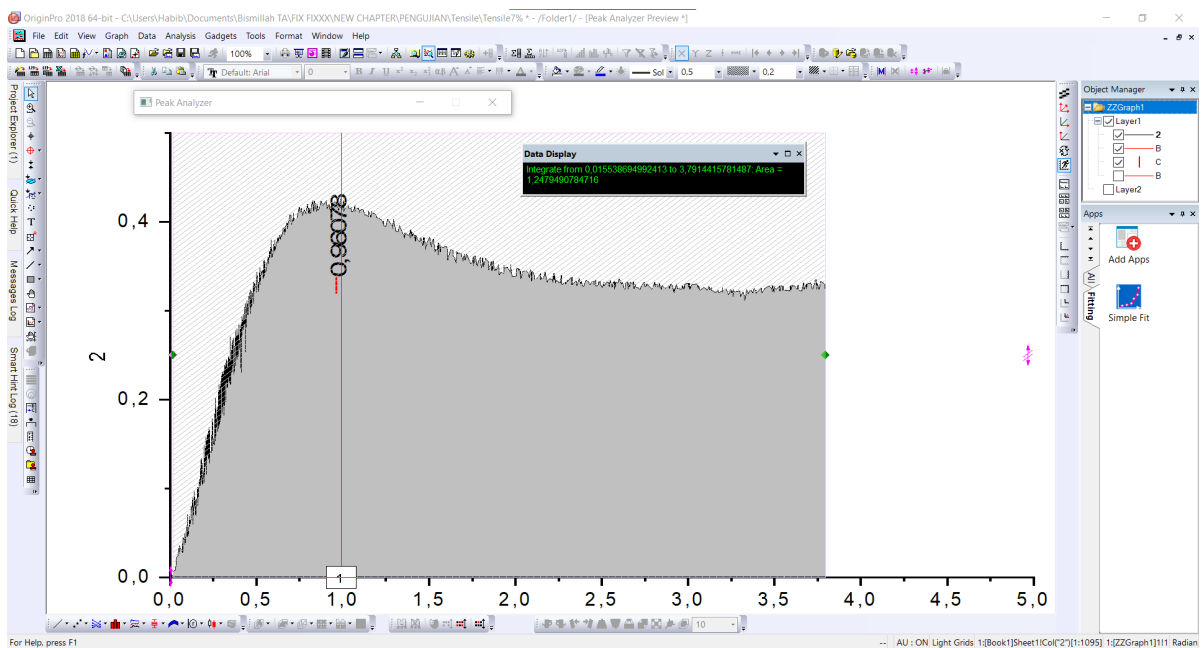
Toughness spesimen 5%-3



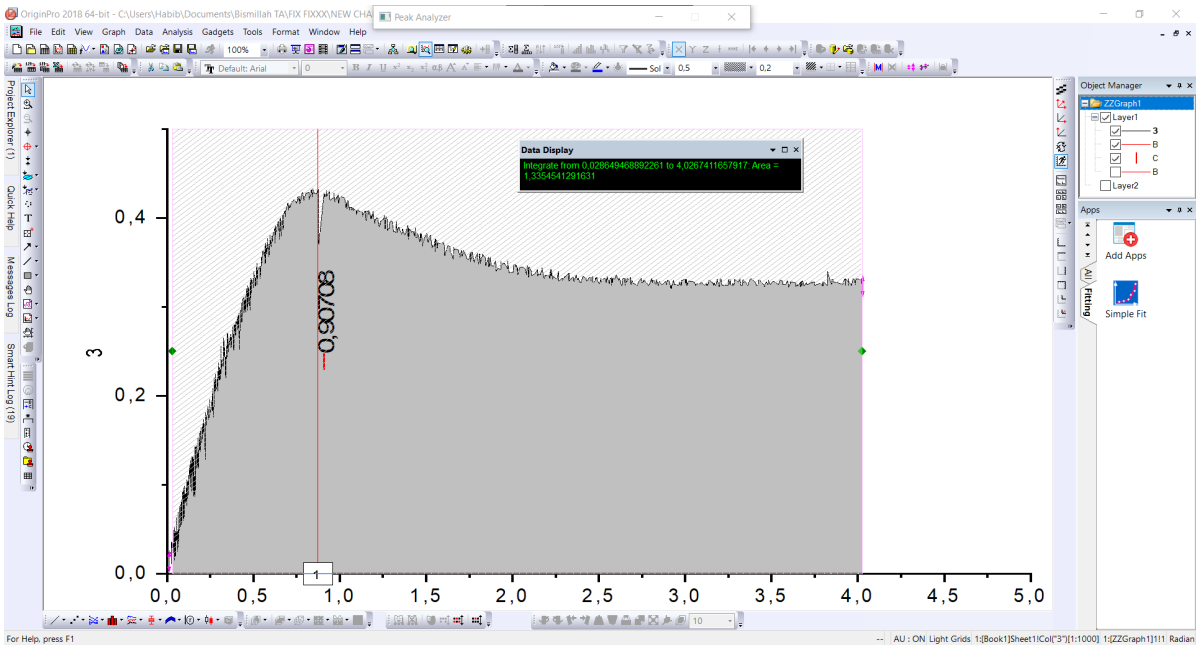
Toughness spesimen 5%-4



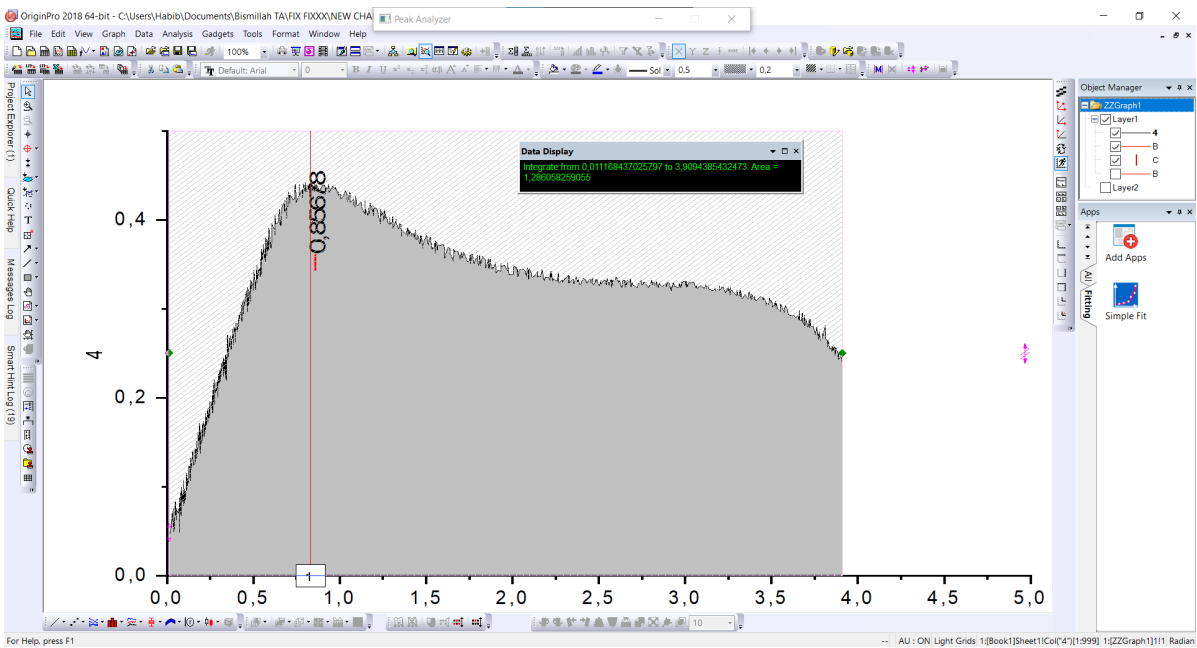
Toughness spesimen 7%-1



Toughness spesimen 7%-2

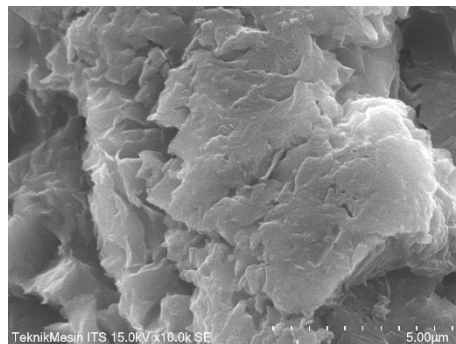
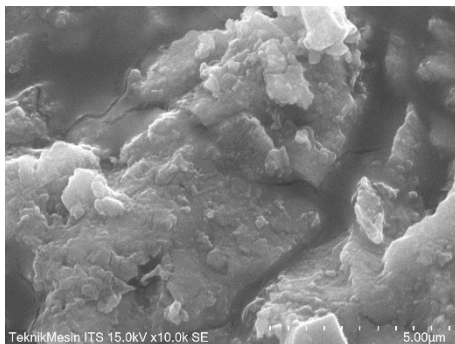
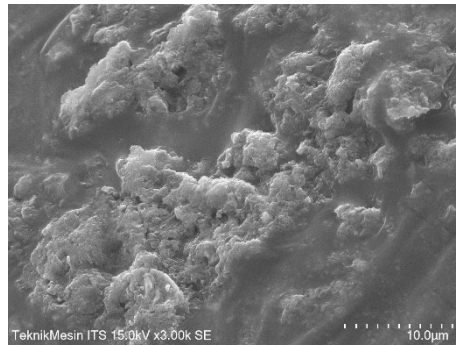
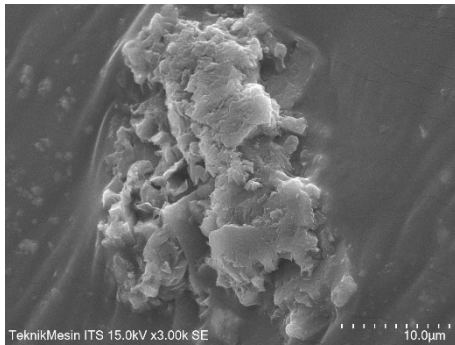


Toughness spesimen 7%-3

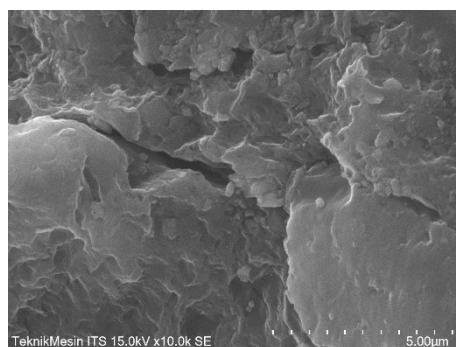
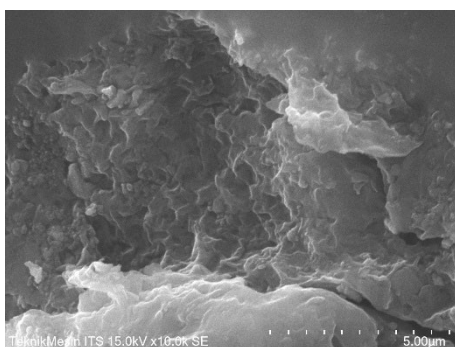
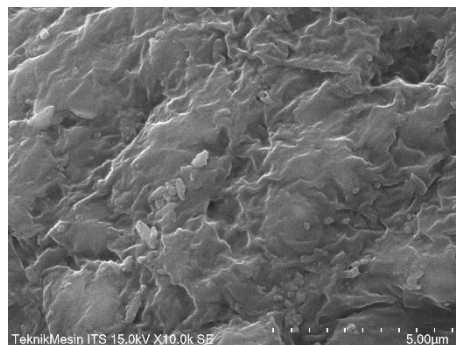
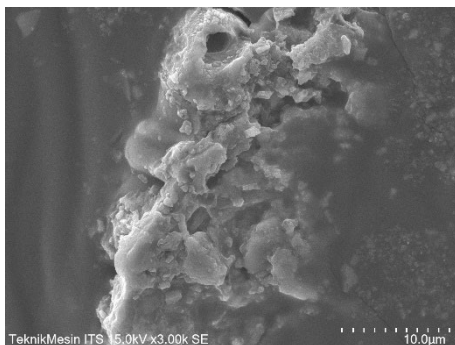


Toughness spesimen 7%-4

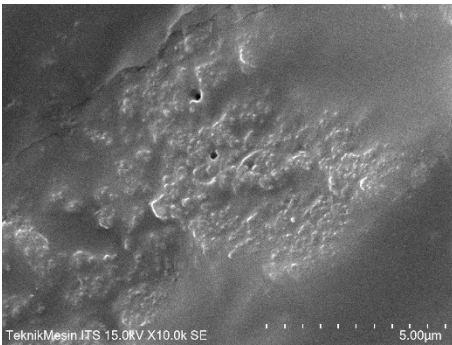
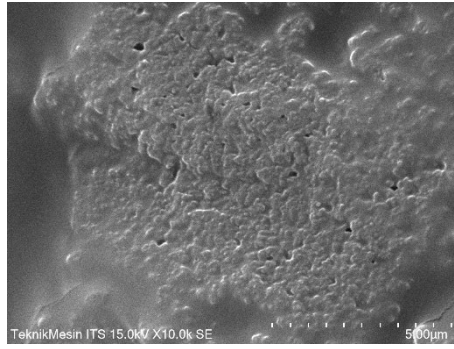
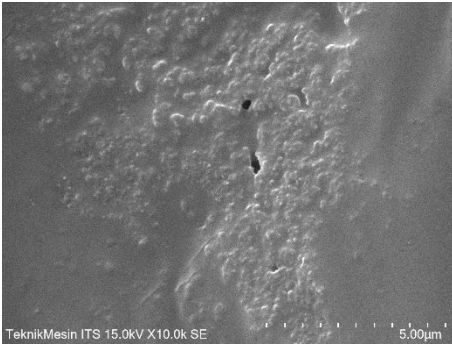
Hasil *Scanning Electron Microscope* dengan pembesaran terlampir.



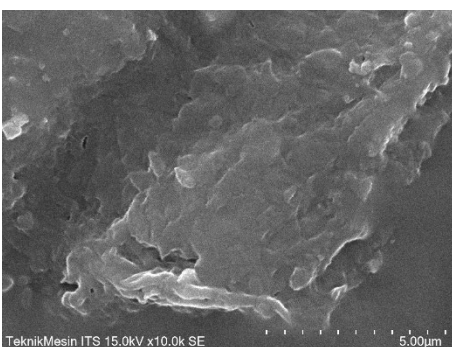
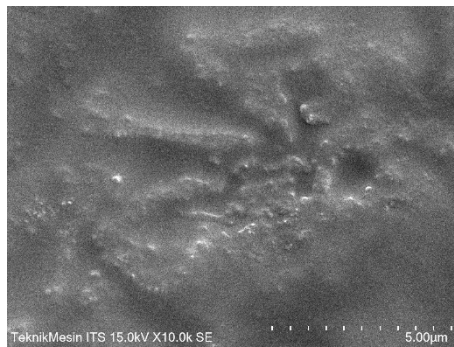
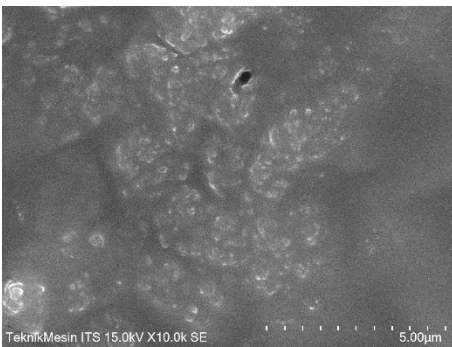
SEM dari spesimen SPE murni, tampak kasar, terjal banyak berlubang dan sedikit area halus, terdapat area halus yang bening, tampak retakan di beberapa area.



SEM dari spesimen SPE + 3% *Epoxy*, tampak kasar namun lebih halus dari spesimen SPE murni, terjal namun datar, banyak berlubang dan sedikit area halus.



SEM dari spesimen SPE + 5% Epoxy, tampak kasar, datar namun berlubang dan area halus mulai melingkupi permukaan.



SEM dari spesimen SPE + 7% Epoxy, tampak rata, sedikit lubang dan area halus mulai melingkupi permukaan, terdapat lapisan halus yang melingkupi seluruh permukaan spesimen.

BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Habib Saifuddin Fathoni dilahirkan di Palembang, 8 Desember 2000. Penulis memiliki 3 orang kakak bernama Muhammad Hendro Yulianto, Fitri Fathonah, dan Siti Khotijah dari kedua orang tua yang penyayang bernama Abdurrahman Wisnu Setyana dan Maryuni. Pendidikan formal yang ditempuh penulis dimulai dari SD Ta'mirul Islam Surakarta. Kemudian dilanjutkan ke MTsN II Surakarta dan selanjutnya menempuh pendidikan di SMA MTA Surakarta. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Departemen Teknik Mesin S1 FT-IRS ITS.

Selama masa perkuliahan penulis tidak hanya mengikuti pendidikan formal di kelas, namun juga berusaha mengembangkan softskill dan hardskill yang dimiliki. Pada tahun kedua hingga keempat perkuliahan, penulis aktif sebagai anggota Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin, serta mengikuti beberapa kompetisi balap gokart tingkat nasional. Pada tahun keempat perkuliahan, penulis juga mengamban amanah sebagai badan pengurus harian LBMM sebagai Wakil Ketua Eksternal. Penulis juga pernah menjadi asisten dosen untuk matakuliah gambar mesin, dan juga sebagai asisten praktikum metalurgi. Tidak hanya itu penulis juga beberapa kali menjadi pembicara dalam pelatihan desain menggunakan *software SOLIDWORKS* dan pada saat mengerjakan tugas akhir penulis juga mendapat kesempatan magang dari kampus merdeka.

Dengan diterbitkannya buku tugas akhir ini, penulis berharap akan dapat memberikan kontribusi kepada dunia ilmu pengetahuan dan dapat disempurkan pada penelitian-penelitian selanjutnya. Informasi lebih lanjut terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email habibsaifuddin1@gmail.com, terimakasih.