

**PENGARUH WAKTU FOTOPOLIMERISASI
TERHADAP KARAKTERISTIK DAN UJI
KONDUKTIVITAS KOMPOSIT POLIMER
KOLESTERIL AKRILAT-ITO (*INDIUM TIN OXIDE*)**

Skripsi

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar sarjana sains**



**Nurul Hidayati
3325130961**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGARUH WAKTU FOTOPOLIMERISASI TERHADAP KARAKTERISTIK
DAN UJI KONDUKTIVITAS KOMPOSIT POLIMER KOLESTERIL AKRILAT-
ITO (INDIUM TIN OXIDE)**

Nama : Nurul Hidayati
No. Reg : 33251309561
Program Studi : Kimia

Nama : **Tanda Tangan** Tanggal

Penanggung Jawab
Dekan

: Prof. Dr. Suyono, M.Si
NIP 19671218 199303 1 005



21/08/2017

Wakil Penanggung Jawab
Wakil Dekan I

: Dr. Muktiningsih N, M.Si
NIP 19640511 198903 2 001

21/08/2017

Ketua

: Dr. Yusmaniar, M.Si
NIP 19620626 199602 2 001

16/08/2017

Sekretaris

: Prof. Dr. Erdawati, M. Sc
NIP 19510912 198103 2 001

16/08/2017

Anggota Penguji

: Arif Rahman, M.Sc
NIP 19790216 200501 1 003

16/08/2017

Pembimbing I

: Dr. Afrizal, M.Si
NIP 19730416 199903 1 002

16/08/2017

Pembimbing II

: Drs. Darsef Darwis, M.Si
NIP 19650806 199003 1 004

21/08/2017

Dinyatakan lulus ujian skripsi pada tanggal: 9 Agustus 2017

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul **“Pengaruh waktu fotopolimerisasi terhadap karakteristik dan uji konduktivitas komposit polimer kolesteril akrilat-ITO”** yang disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Program Studi Kimia Universitas Negeri Jakarta adalah karya ilmiah saya dengan arahan dari dosen pembimbing.

Sumber informasi yang diperoleh dari penulis lain yang telah dipublikasikan yang disebutkan dalam teks skripsi ini, telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Jika dikemudian hari ditemukan sebagian besar skripsi ini bukan hasil karya saya sendiri dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sanding dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Jakarta, 10 Agustus 2017



Nurul Hidayati

Assalamu'alaykum warrsahmatullahi wabaraakatuh

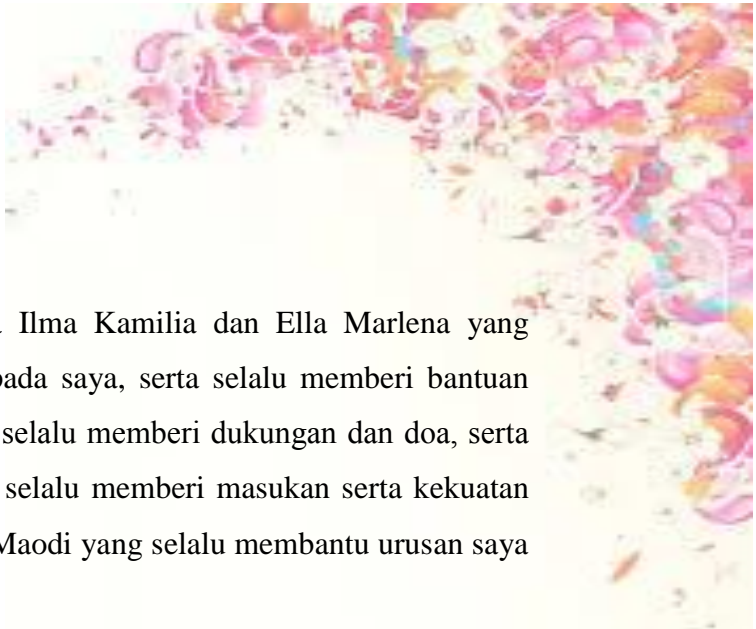
Bismillahirrahmaanirrahiim

Puji syukur kepada Allah SWT atas limpahan nikmat, rahmat, dan karunia-Nya yang tak terkira serta keberkahan bagi umat manusia dan segala kehidupan yang diciptakanNya. Alhamdulillah, rasa syukur saya ucapkan karena dapat menyelesaikan segala urusan secara lancar. Tidak lupa saya curahkan shalawat serta salam kepada baginda Nabi kita Nabi Muhammad SAW, serta para keluarga, sahabat dan kerabat hingga akhir zaman.

Pertama saya banyak mengucapkan terimakasih untuk kedua orang tua saya yang selalu mendoakan, mendukung, selalu meluangkan waktu, membantu, membimbing, dan mengajarkan segala urusan saya dari kecil hingga besar. Terimakasih untuk adik saya Dwi Ida Lestari yang selalu membantu saya ketika saya membutuhkan bantuan dan Irsyad Ramadhani yang selalu membuat saya bahagia dan membuat saya tertawa, saya selalu bersyukur diberikan adik-adik seperti kalian.

Terimakasih untuk dosen pembimbing saya Pak Afrizal dan Pak Darsef yang selalu membimbing, membantu, mendengarkan, memberi masukan dan mengajari saya ilmu-ilmu yang bermanfaat sehingga telah terselesaikan skripsi ini. Terima kasih untuk Bu Yusmaniar dan teruntuk dosen-dosen yang lainnya yang telah memberikan banyak ilmu kepada saya. Maafkan saya belum bisa membalas segalanya dan semoga saya bisa membalas kebaikan kalian.

Terimakasih untuk keluarga Mbah Karto yang di Cepu, terutama untuk Lek Kar, lek Par dan Lek Tin yang selalu sayang saya, yang selalu memberi dukungan dan doa. Terimakasih pula kepada sepupu saya Rini Nur Utami, Erma Dwi Suryani dan Fitri Rohmah Handayani yang selalu memberikan doa dan selalu memberikan saya kebahagiaan sehingga lupa akan beban yang ada di kepala. Banyak cara yang mereka lakukan untuk membuat saya bahagia.



Terimakasih untuk sahabat saya Ilma Kamilia dan Ella Marlina yang selalu memberi doa dan dukungan kepada saya, serta selalu memberi bantuan kepada saya, Wasi'atul Maghfiroh yang selalu memberi dukungan dan doa, serta selalu mendengarkan curhatan saya dan selalu memberi masukan serta kekuatan kepada saya, terimakasih untuk Zentika Maodi yang selalu membantu urusan saya dan dukungan serta doa.

Terimakasih untuk kak Friday yang selalu membantu, dan telah memberikan sebagian ilmunya kepada saya. Terimakasih untuk teman-teman Kimia 2013, Nurul dan vera (umi) yang selalu memberi masukan, selalu mengingatkan, dan yang sabar jika saya lagi panik, Yuki teman yang saling mengisi pendapat dan yang cerewet, Adit teman untuk bercerita, Ayu teman yang selalu memberi semangat dan selalu membuat senang, Nurmei teman yang selalu memberi pendapat yang pas jika saya sedang bingung dan membuat pemikiran saya menjadi terbuka, teman seperjuangan yang selalu memberikan semangat dan saling mengingatkan (Fuji, Linggar, Zaini), walaupun tidak dekat tapi teman-teman ini sangat baik dan selalu sabar menghadapi saya (Hilda, Nurjay, Delia, Tia), Rio temen seperjuangan semkim dan dia adalah orang yang hebat, Ines teman yang terkadang saya tebengin pada saat pulang kuliah, Maryanti, Tuti, Kanza, Ilma, Febri, April, Nopa, Ratih, Anis, Arum, Qiqi, Anisa, Geta, Nadia, Cynthia, Sari, Brillli, Erlan, Bail, Rafly, Aditya dan Rini yang selalu memberikan dukungan serta do'a. Terimakasih telah mengisi waktu-waktu saya selama perkuliahan yang sangat menyenangkan, selalu memberi pelajaran untuk saya dan saya senang di izinkan oleh Allah SWT telah dipertemukan dengan orang-orang hebat seperti kalian. Semoga kita selalu diberi nikmat, rahmat dan karunia-Nya yang tak terkira.

*“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya”
(Q.S. Al-Baqarah: 286)*



ABSTRAK

NURUL HIDAYATI. Pengaruh Waktu Fotopolimerisasi Terhadap Karakteristik dan Uji Konduktivitas Komposit Polimer Kolesteril Akrilat-ITO. Dibawah Bimbingan AFRIZAL., DARSEF DARWIS

Komposit polimer kolesteril akrilat-ITO merupakan polimer kristal cair kolesteril akrilat yang didopan oleh dopan ITO. Variasi waktu fotopolimerisasi komposit polimer kolesteril akrilat-ITO bertujuan untuk mengetahui karakterisasi dan uji konduktivitas. Fotopolimerisasi dengan radiasi sinar UV dilakukan pada variasi waktu 15, 20, 25, 30, dan 35 menit dengan rentang suhu yang sama yaitu 60-70°C. Berdasarkan spektrum FTIR puncak dari menit ke-15 sampai ke-35 mengalami pergeseran kearah gelombang yang besar, hal ini menunjukkan semakin lama waktu fotopolimerisasi PKA-ITO semakin panjang rantai polimer dan terdapat vibrasi ikatan In-OH dan C-O ester yang manandakan interaksi antara PKA dan ITO pada bilangan gelombang 1051,34-1057,11 cm^{-1} , berdasarkan pola difraksi sinar-X ITO memiliki puncak khas pada daerah $2\theta=35^\circ$, 50° , dan 60° dan puncak khas fasa nematik kiral pada daerah $2\theta=15-20^\circ$, dan berdasarkan SEM-EDX memperlihatkan bahwa sampel terdapat bentuk batang dan bulatan-bulatan, dan mengandung unsur C, O, dan In. Hasil uji konduktivitas menunjukkan nilai konduktivitas tertinggi pada waktu fotopolimerisasi 20 menit sebesar $1,8390 \times 10^{-10}$ S/m.

Kata kunci. *Kristal cair, komposit polimer kolesteril akrilat-ITO, waktu fotopolimerisasi, konduktivitas*

ABSTRACT

NURUL HIDAYATI. Effect of Photopolymerization Time on Characteristics and Conductivity Test of Composit Polymer Cholesteryl Acrylate-ITO. Under Supervised by AFRIZAL., DARSEF DARWIS

The composite polymer cholesteryl acrylate-ITO is a polymer liquid crystalline cholesteryl acrylate doped by dopant ITO. Variation of photopolymerization time of polymer composite cholesteryl acrylate-ITO aims to know the characterization and conductivity test. Photopolymerization with UV radiation was performed at 15, 20, 25, 30, and 35 minute variations with the same temperature range of 60-70 °C. Based on the peak FTIR spectrum from the 15th to the 35th minute it shifts towards a large wave number, this indicates the longer time of photopolymerization of PKA-ITO the longer the polymer chain, and there is an In-OH and C-O ester bonding vibration which signifies the interaction between PKA and ITO at wave numbers 1051,34-1057,11 cm^{-1} , Based on the X-ray diffraction pattern ITO has a typical peak at $2\theta = 35^\circ$, 50° , and 60° and the typical peak of chiral nematic phase at $2\theta = 15-20^\circ$, and based on SEM-EDX shows that the sample has formed a polymer network and there are spheres other than that containing elements C, O, and In. The results of conductivity test showed the highest conductivity value at the time of photopolymerization of 20 minutes equal to $1.8390 \times 10^{-10} \text{ S/m}$.

Keywords. *liquid crystals, composite polymer cholesteryl acrylate-ITO, time of photopolymerization, conductivity*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas limpahan nikmat, rahmat, dan karunia-Nya yang tak terkira serta keberkahan bagi umat manusia dan segala kehidupan yang diciptakanNya. Rasa syukur, penulis ucapkan telah menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Waktu Fotopolimerisasi Menggunakan Metode *Uv Curing* Terhadap Karakteristik Komposit Polimer Kolesteril Akrilat-Ito”. Tidak lupa penulis curahkan shalawat serta salam kepada baginda Nabi kita Nabi Muhammad SAW, serta para keluarga, sahabat dan kerabat hingga akhir zaman. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan memperoleh gelar sarjana sains, Program Studi Kimia di Universitas Negeri Jakarta.

Dalam penyelesaian skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Untuk itu ungkapan terima kasih penulis kepada kedua orang tua, Bapak Dr. Afrizal, M.Si. sebagai dosen pembimbing I, Bapak Drs. Darsef Darwis, M.Si. sebagai dosen pembimbing II, Ibu Dr. Yusmaniar, M.Si. sebagai dosen pengampu Skripsi serta Bapak dan Ibu dosen jurusan kimia yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis dan teman-teman yang selalu memberi semangat dan dukungan.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk memenuhi tugas. Namun, Penulis menyadari skripsi tak luput dari kesalahan. Oleh karena itu, penulis meminta saran dan masukan serta informasi sehingga dapat menyempurnakan skripsi ini.

Jakarta, Juli 2017

Nurul Hidayati

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Perumusan Masalah.....	3
C. Tujuan.....	3
D. Manfaat.....	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	4
A. Kristal Cair	4
B. Fasa Kolesterik (Kiral Nematik)	6
C. Kolesteril Akrilat.....	9
D. Fotopolimerisasi Insitu	10
E. Metode <i>UV Curing</i>	13
F. Peran Fotoinisiatior	14
G. Polimer	16
H. Fungsi Dopan untuk Polimer Kristal Cair.....	17
I. <i>Indium Tin Oxide</i> (ITO) dan Sifat Konduktivitasnya.....	18
J. Instrumen Karakterisasi.....	19
1. <i>Fourir Trasmission Infrared</i> (FTIR).....	19
2. <i>SEM</i> (<i>Scanning Electron Microscope</i>).....	19
3. <i>X-ray Diffractometer</i> (XRD).....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
A. Waktu dan Tempat Penelitian	22
B. Metode Penelitian.....	22
1. Alat dan Bahan.....	22
2. Prosedur Penelitian	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
A. Sintesis Kolesteril Akrilat	26
B. Fotopolimerisasi dan Karakterisasi Komposit Polimer Kolesteril Akrilat dengan Dopan Indium Thin Oxide	30
C. Uji Konduktivitas Campuran Polimer Kolesteril Akrilat-ITO	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	44
A. Kesimpulan.....	44
B. Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	52

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Diagram Fasa Zat	4
2. Perbedaan Struktur Posisi Molekul Tiap Fasa Akibat Perbedaan Suhu	4
3. Susunan molekul Kristal cair	5
4. (a) pemantulan selektif Kristal cair kolesterik, (b) Pitch dari Cholesteric Liquid Crystal	7
5. Tekstur Fasa Kolesterik.	7
6. Struktur senyawa penyusun Kolesteril Akrilat	9
7. Struktur kolesteril akrilat	9
8. Mekanisme Reaksi Inisiasi	11
9. Mekanisme Reaksi Propagasi <i>Head to Tail</i> (Kepala ke Ekor) Polimer Kolesteril Akrilat	12
10. Mekanisme Reaksi Terminasi Polimer Kolesteril Akrilat.	13
11. Mekanisme <i>UV Curing</i>	14
12. Pola Difraksi sinar-X	18
13. Skema SEM	20
14. Difraksi Sinar X pada Kristal.....	21
15. Spectrum FTIR ABB	28
16. Spektrum FTIR Kolesteril Akrilat	30
17. Plat komposit polimer kolesteril akrilat-ITO.....	32
18. Spektrum FTIR Komposit Polimer Kolesteril Akrilat-ITO, Kolesteril Akrilat, dan ITO.	34
19. Spektrum FTIR Komposit Polimer Kolesteril Akrilat-ITO.....	35
20. Hasil Karakterisasi XRD.....	37
21. Mikrograf SEM Permukaan Komposit Kolesteril Akrilat-ITO.....	39
22. Spektrum EDX komposit polimer kolesteril akrilat-ITO	40
23. Grafik Uji Konduktivitas Komposit Polimer Kolesteril Akrilat-ITO.....	42

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Daftar Beberapa Dopan untuk Polimer Kristal cair	17
2. Spektrum serapan IR senyawa ABB	27
3. Puncak-puncak serapan spectrum <i>Infra Red</i> pada sampel kolesteril akrilat	29
4. Spektrum Inframerah Komposit Polimer Kolesteril Akrilat-ITO, Kolesteril Akrilat, dan ITO.....	33
5. Puncak-puncak Serapan Spektrum IR Hasil Fotopolimerisasi Polimer Kolesteril Akrilat-ITO pada menit ke-15, 20, 25, 30, dan 35.....	36
6. Data EDX Komposit Polimer Kolesteril Akrilat-ITO pada menit ke-20	41
7. Data EDX Komposit Kolesteril Akrila-ITO pada menit ke-25	41
8. Data konstanta dielektrik, konduktansi, nilai konduktivitas dan nilai permivitas relatif	42

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Pembuatan kolesteril akrilat.....	51
2. Pembuatan komposit thin film dengan metode <i>casting solution</i>	53
3. Karakterisasi Komposit thin Film polimer kolesteril akrilat-ITO	55
4. Uji Konduktivitas Komposit thin Film polimer kolesteril akrilat-ITO.....	56
5. Spektrum FTIR Monomer Kolesteril Akrilat	57
6. Spektrum FTIR Dopan ITO	57
7. Spektrum FTIR Komposit Polimer Kolesteri Akrilat-ITO	58
8. Data LCR meter	61
9. Perhitungan Nilai Konduktivitas (σ) dan Permittivitas relatif (ϵ).....	64
10. Dokumentasi penelitian	66

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kristal cair sangat berperan besar dalam perkembangan teknologi. Materi ini digunakan sebagai salah satu bahan pembuat suatu filter warna, sensor, bahan untuk barang-barang elektronik, serta optikal optis lainnya (Petkoska A. T., 2014). Hal ini dikarenakan sifatnya yang dapat mempolarisasikan cahaya, bentuknya yang tipis, dapat merespon medan listrik dengan efektif, serta energi dan voltase yang dibutuhkan rendah (Kim *at al.*, 2008).

Kristal cair memiliki tiga jenis fasa akibat perubahan suhu antara lain smektik, nematik dan kolesterik (kiral nematik) (Ganicz & Stańczyk, 2009) . Kristal cair kolesterik merupakan kristal cair kiral nematik, kristal cair ini tersusun dari kristal cair nematik dengan sifat-sifat yang hampir sama dengan nematik, namun molekul-molekulnya cenderung membentuk heliks. Struktur heliks pada bahan Kristal memiliki arah yang teratur secara makroskopik pada pengaruh medan listrik atau medan magnet yang bermanfaat untuk aplikasi pembaca sinyal dari suatu sensor (University of Cambridge, 2010). Untuk mempertahankan struktur heliks pada senyawa kolesteril akrilat dilakukan polimerisasi dengan cara fotopolimerisasi insitu. Proses fotopolimerisasi secara insitu merupakan suatu proses polimerisasi secara "bulk" dengan mengutamakan fiksasi kondisi struktur molekul tertentu dengan bantuan energi berupa cahaya gelombang radiasi, kemudian fotoinisiasi akan berinisiasi menghasilkan radikal bebas yang diperlukan untuk proses polimerisasi radikal (proses *curing*) (Riswoko, 2010). Proses fotopolimerisasi yang mengacu pada penggunaan sinar, seperti sinar X, sinar γ , dan sinar UV. Proses fotopolimerisasi yang dilakukan dengan menggunakan sinar UV disebut dengan proses UV *curing*, dimana proses UV *curing* memiliki beberapa keuntungan, seperti menggunakan pelarut-pelarut reaktif (monomer polifungsional) yang tidak menguap sehingga tidak mencemari udara, proses berlangsung lebih cepat untuk kapasitas produksi yang

sama, konsumsi energi jauh lebih kecil, kualitas produk lebih baik (lebih keras lebih tahan terhadap goresan, tahan terhadap panas, dan pelarut organik), tidak terdapat sisa-sisa katalis pada produk, dan adesi bahan pelapis terhadap substrat lebih baik (Soyon *et al.*, 2013). Kelebihan dari polimer kolesterik yakni dapat mengabsorpsi energi cahaya dan mengubahnya menjadi energi panas, polarisasi spontan, dan sangat sensitif terhadap cahaya (Riswoko, 2010).

Polimer kristal cair dijadikan suatu komposit untuk meningkatkan potensi aplikasi dari polimer diantaranya dapat menambah sifat mekanik ataupun konduktivitasnya, lebih ringan dan lebih kuat, serta lebih tahan lama. Beberapa penelitian yang terkait dengan polimer kolesterik kristal cair adalah mencampurkan kristal cair kolesteril akrilat dengan kristal cair tipe ester benzoat dengan cara blending (Umeir *et al.*, 2013). Selain itu penelitian lainnya menggunakan dopan ITO (*Indium Thin Oxide*) untuk menambahkan sifat konduktivitas pada polimer Kristal cair kolesteril (Petkoska A. T., 2014). Selain itu juga terdapat penelitian mengkombinasikan Poly(3,4-Ethylenedioxythiophene) dengan ITO (*Indium Tin Oxide*) dan menghasilkan suatu nanokomposit dengan nilai konduktivitas tinggi antara 0,1 sampai 15 S/cm, selain itu daya tembus yang meningkat dari 25% menjadi 85% sehingga dapat tembus cahaya (Yu *et al.*, 2012).

Berdasarkan penjabaran tersebut maka pada penelitian ini akan dilakukan pengaruh waktu fotopolimerisasi menggunakan metode *UV Curing* terhadap karakteristik komposit polimer kolesteril akrilat-ITO. Hasil dari sampel berupa komposit polimer kolesteril akrilat yang didopan oleh ITO (*indium tin oxide*) dengan metode UV curing yang akan dikarakterisasi dengan menggunakan beberapa instrumen, yaitu FTIR (*Fourier Transform Infrared*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*)-EDX (*Energy Dispersive X-ray*), dan XRD (*X-Ray Diffraction*).

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan pembatasan masalah, maka rumusan masalahnya adalah “Bagaimana karakteristik komposit PKA-ITO dengan variasi waktu fotopolimerisasi menggunakan metode *UV-Curing* dan uji konduktivitasnya?”

C. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh waktu fotopolimerisasi menggunakan metode *UV-Curing* terhadap karakteristik dan uji konduktivitas komposit polimer kolesteril akrilat-ITO.

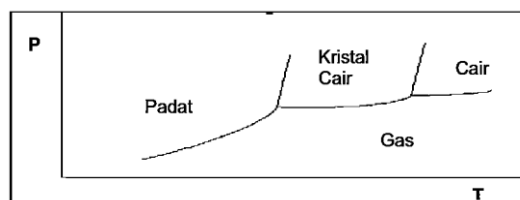
D. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh waktu fotopolimerisasi menggunakan metode *UV-Curing* terhadap karakteristik dan uji konduktivitas komposit polimer kolesteril akrilat-ITO.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

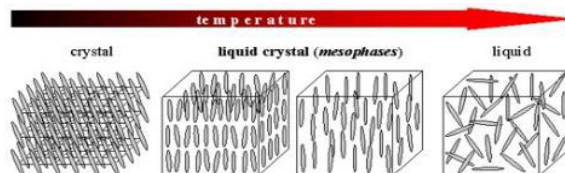
A. Kristal Cair

Fase kristal cair pertama kali ditemukan pada tahun 1888 oleh seorang ahli botani Austria bernama Friedrich Reinitzer berupa zat kolesteril benzoat (Riswoko *et al.*, 2010). Kristal cair saat ini sedang berkembang pesat dimana Kristal cair sangat berperan besar dalam perkembangan teknologi. Materi ini digunakan sebagai salah satu bahan pembuat suatu filter warna, sensor, bahan untuk barang-barang elektronik, serta optikal optis lainnya. Salah satu perkembangan penelitian Kristal cair ini adalah dengan menjadikannya suatu film tipis yang ditambahkan dengan suatu dopan konduktif yang terbukti dapat meningkatkan sifat konduktivitas dari polimer Kristal cair kolesterik (Petkoska A. T., 2014).



Gambar 1. Diagram Fasa Zat.

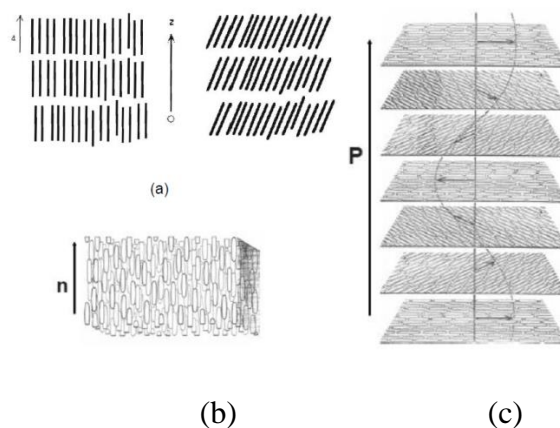
Kristal cair berada antara fasa cair dan fasa padat. Kristal cair memiliki dua jenis sifat yang berbeda satu sama lain yaitu termotropik dan liotropik. Kristal cair termotropik antara lain fasa tengah (mesofasa) akan muncul akibat pemanasan fasa padat atau pendinginan fasa cair. Sedangkan kristal cair liotropik dapat dibentuk dari campuran dua atau lebih senyawa.



Gambar 2. Perbedaan Struktur Posisi Molekul Tiap Fasa Akibat Perbedaan Suhu
(University of Cambridge, 2010)

Keadaan mesofasa liotropik dapat diamati ketika konsentrasi pelarut mengganggu tatanan kristal dalam meningkatkan fluiditas sehingga larutan menjadi isotropik (University of Cambridge, 2010). Molekul-molekul dalam keadaan kristal cair, mempunyai mobilitas terbatas dan sedikit beraturan. Tidak seperti molekul-molekul dalam fasa cair yang mempunyai ketidakteraturan dalam mobilitas. Molekul-molekul tersebut dapat bergerak dalam tiga dimensi dan berotasi. Namun tidak semua material dapat membentuk fase kristal cair, hanya molekul-molekul tertentu dengan ciri-ciri struktur antara lain molekul memiliki ruas mendatar, contohnya cincin benzene, serta bentuk anisotropik (misalnya memanjang), struktur molekul kaku, mengandung ikatan rangkap disepanjang sumbu molekul, dan adanya momen dipol yang kuat dan gugus polarisasi dalam molekul (Andrienko, 2006)

Kristal cair dibagi lagi kedalam mesofasa yang berbeda tergantung pada tingkat orientasi dan posisi yang dimiliki berdasarkan tipe tatanan kristalnya. Terdapat tiga jenis fasa yang berbeda akibat perubahan suhu, yaitu smektik, nematik dan kolesterik (kiral nematik) (Ganicz & Stańczyk, 2009).



Gambar 3. Susunan molekul Kristal cair (a) Smektik A- smktik C (b) Nematik (c) Kolesterik.

Kristal cair smektik memiliki molekul-molekul yang tersusun seperti batang dalam lapisan-lapisan. Panjang sumbu molekul tegak lurus terhadap bidang lapisan. Gerak molekul hanya translasi dalam dua arah dan berputar pada panjang sumbu (Riswoko, 2010). Kristal cair fasa nematik merupakan Kristal cair

yang berbentuk seperti benang (nematik) memiliki molekul-molekul yang tersusun sejajar bergerak bebas dalam tiga dimensi tetapi hanya berputar pada sumbu panjangnya. Ciri utama utama struktur nematik adalah keteraturan orientasi berjangkauan panjang (long range orientational order). Molekul-molekulnya cenderung parallel pada satu sumbu tertentu. Berbeda halnya dengan kristal cair fasa nematik, kristal cair fasa kolesterik memiliki susunan molekul-molekul seperti fasa nematik yang tersusun berlapis-lapis dan memiliki orientasi susunan molekul yang berbeda-beda di setiap lapisannya. Setelah beberapa lapisan, orientasi molekul akan berulang kembali (Petkoska A. T., 2008). Susunan molekul dari ketiga jenis kristal cair tersebut ditunjukkan pada Gambar 3. Kristal cair banyak digunakan sebagai bahan LCD (liquid crystal display) seperti kalkulator, termometer kristal cair, sensor alat radiasi, dan jam tangan digital.

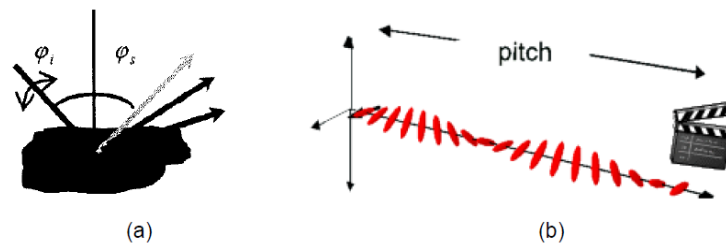
B. Fasa Kolesterik (Kiral Nematik)

Kristal cair kolesterik merupakan kristal cair yang sering disebut chiral nematik, kristal cair ini tersusun dari kristal cair nematik dengan sifat-sifat yang hampir sama dengan nematik, namun molekul-molekulnya cenderung membentuk heliks (Warsono *et al.*, 2009).

Monomer dari akrilat menampilkan sifat mesofasa berdasarkan panjang *pitch heliks*. Panjang pitch heliks tergantung pada temperatur. Berdasarkan hasil analisis termal dengan DSC (Differential Scanning Calorimetry), diperoleh informasi bahwa suhu monomer mesofasa kolesteril akrilat adalah 81,28 °C. Pengamatan monomer kolesteril akrilat dengan POM (Polarized Optical Microscopy) pada suhu mesofasa menunjukkan tekstur *gradjean* atau berminyak terlihat beruntun yang tampak seperti pipa yang membagi tekstur kristal. Suhu tinggi (di atas suhu mesofasa) menyebabkan keadaan monomer memiliki *clear point* (Mihara *et al.*, 2002).

Berdasarkan strukturnya yang berbentuk heliks (terpilin), Kristal cair kolesterik memiliki sifat yang unik yaitu jika dikenai berkas cahaya kristal cair ini dapat memantulkan cahaya secara selektif dan polarisasi dari cahaya yang dipantulkannya sirkular. Sifat inilah yang menonjol dari kristal cair kolesterik, hal

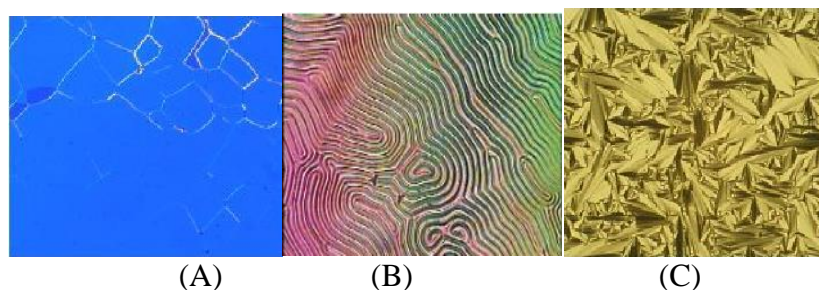
ini disebabkan karena jarak antara bidang-bidang yang mempunyai arah/orientasi yang sama (pitch). Sifat selektif tersebut muncul akibat indeks refraksi bahan kolesterik yang disebabkan oleh memutarnya pitch dan struktur heliksnya pada mesophase. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4a dan 4b.



Gambar 4. (a) pemantulan selektif Kristal cair kolesterik, (b) Pitch dari Cholesteric Liquid Crystal (Petkoska A. T., 2008)

Secara makroskopik fasa kolesterik memiliki tekstur lamelar dengan ketebalan lamelar sama dengan panjang pitch. Gambar 4 menunjukkan panjang molekul kolesterik untuk setiap satu putaran dalam fasa kolesterik yang disebut pitch (p). Panjang pitch ini sangat bergantung dari jenis kristal cair dan suhu karena panjang pitch ini dapat disesuaikan dengan panjang gelombang cahaya tampak, maka kristal cair kolesterik dapat diaplikasikan untuk filter (shift color).

Panjang gelombang yang disesuaikan dengan panjang pitch akan diabsorpsi. Selain itu, bahan kristal cair kolesterik dapat menggantikan bahan kristal cair nematik untuk aplikasi LCD. Kelebihannya adalah karena dapat terpilin (twisted) secara alami yang sangat baik untuk meningkatkan kontras (Putra *et al.*, 2004).



Gambar 5. Tekstur Fasa Kolesterik (a) Tekstur Planar (Grandjean) (b) Tekstur Sidik Jari (Fingerprint) (c) Tekstur Focal Conic (University of Cambridge, 2010).

Fase kolesterik dapat diidentifikasi dengan menggunakan mikroskop polarisasi optik. Ketika terdapat dinding sel heliks supramolekul struktur akan didominasi orientasi sehingga sumbu heliks terdapat di sepanjang substrat (heliks sejajar secara vertikal). Jika dilihat di sepanjang heliks menggunakan mikroskop polarisasi warna terlihat tidak berubah atau hilang seiring rotasi sampel. Hal ini karena sumbu optik sejajar dengan arah propagasi cahaya. Namun, tekstur yang berbeda diamati jika sumbu heliks berorientasi dalam bidang sel. Karakteristik tekstur sidik jari dapat diamati di bawah polarisasi mikroskop sebagai director secara acak dalam bidang sel. Akhirnya, jika tidak ada lapisan keselarasan permukaan hadir dalam sel, maka terjadi orde acak heliks sehingga karakteristik tekstur *focal conic* (University of Cambridge, 2010).

Sifat optis dari mesofase dan pemantulan selektif kristal kolesterik ditentukan oleh panjang pitch dan gulungan heliks bersama dengan indeks refraksi material kolesterik (Petkoska A. T., 2014). Hal ini hampir sama efeknya seperti hukum Bragg.

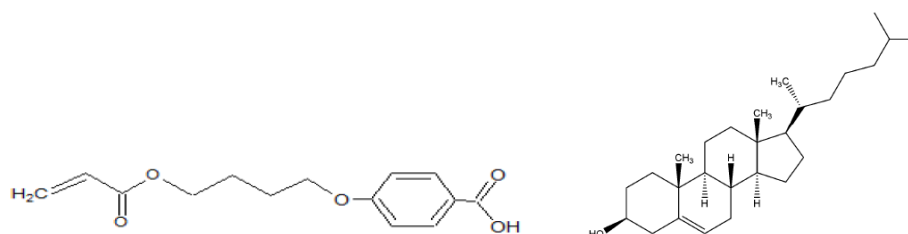
Pada saat ditembakkan oleh cahaya, panjang gelombang yang dipantulkan oleh kristal cair kolesterik (kiral nematik) berhubungan dengan indeks bias anisotropik optik dan pitch yang setara yang tergantung pada sudut datang, konsentrasi dopant kiral, gaya listrik eksternal, dan suhu yang terukur. Reflektansi spektra dinormalisasi dari tiga jenis konsentrasi dopan kiral di N*LC sel pada keadaan normal ($\theta = 90^\circ$) ditunjukkan pada Gambar 9 (b), dan panjang gelombang terpusat tercermin untuk sel-sel ini terletak di 456 nm, 512 nm, dan 659 nm, masing-masing sesuai dengan cahaya biru, hijau, dan merah. Nilai-nilai refleksi untuk tiga jenis sel N*LC yang berhubungan dengan konsentrasi dopan kiral dan indeks bias efektif berbeda-beda (Lin *et al.*, 2014).

Peristiwa inilah yang dijadikan sebagai prinsip dasar kerja alat yang menggunakan indra suhu. Jika melalui elektroda yang disusun dengan pola tertentu, suatu medan listrik dikenakan pada lapisan tipis kristal cair maka pola elektroda tersebut akan terlihat dengan mata. Inilah prinsip yang menggunakan LCD (liquid crystal display) seperti kalkulator, termometer kristal cair, sensor alat

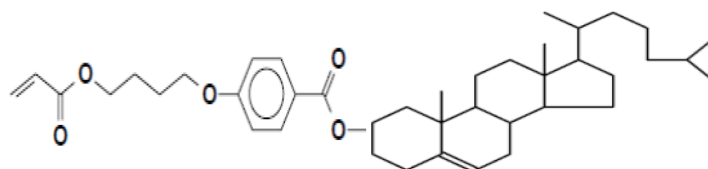
radiasi, dan jam tangan digital, namun kebanyakan dari kristal cair kolesterik ini dijadikan sebagai bahan termometer.

C. Kolesteril Akrilat

Kolesteril akrilat merupakan salah satu jenis senyawa Kristal cair. Senyawa ini merupakan senyawa derivat kolesterol yang memiliki fasa kiral nematik (N*LC). Senyawa ini terbuat dari kolesterol dan p-hydroxyphenyl-2-methyl Butanoat melalui reaksi esterifikasi, sehingga senyawa kolesteril akrilat memiliki struktur yang terdiri dari kolesterol dan gugus akrilat yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Struktur senyawa penyusun Kolesteril Akrilat (a) p-Hidroksifenil 2 Metil Butanoat (b) Kolesterol (Riswoko, 2010)



Gambar 7 Struktur kolesteril akrilat (Afrizal *et al.*, 2012)

Monomer kolesteril akrilat dapat membentuk suatu polimer kolesteril akrilat melalui reaksi *free-radical polymerization*, *controlled radical polymerization* termasuk *atom transfer radical polymerization* (ATRP), *reversible addition fragmentation and transfer* (RAFT) *polymerization*, *metal-catalyzed ring opening polymerization*, metode *graft polymerization* atau *steppolymerization* (Zhou *et al.*, 2009).

Polimer kolesteril akrilat ini termasuk kedalam golongan homopolimer, yaitu polimer yang terdiri dari monomer-monomer yang sama, dalam hal ini adalah kolesteril akrilat. Menurut Yuxiang Zhou *et al*, polimer kolesteril akrilat

memiliki fasa Kristal cair kolesterik dan disintesis melalui reaksi polimerisasi radikal atau reaksi fotopolimerisasi.

D. Fotopolimerisasi Insitu

Salah satu teknik polimerisasi sederhana yang digunakan untuk membuat polimer dengan berat molekul yang besar yaitu proses fotopolimerisasi. Reaksi fotopolimerisasi termasuk ke dalam green technology, hal ini ditandai dengan arus listrik yang masuk dan energi yang dibutuhkannya rendah, pengerjaannya pada temperatur rendah dan tidak menghasilkan senyawa organik yang bersifat volatil (Tehfe *et al.*, 2013).

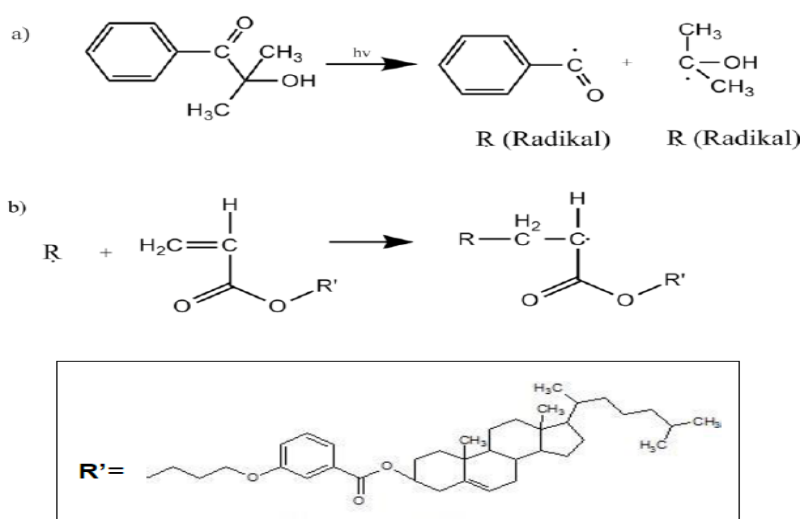
Reaksi fotopolimerisasi diawali dengan pembentukan pusat aktif radikal bebas dengan bantuan cahaya, bukan panas, sehingga reaksi dapat berlangsung singkat. Tahap inisiasi dicapai dengan bantuan fotoinisiator yang menghasilkan pusat aktif saat terjadi penyerapan foton dengan panjang gelombang yang sesuai (Jain *et al.*, 2005). Studi tentang fotopolimerisasi metakrilat dalam mikroemulsi menggunakan sinar UV. Penelitian ini menghasilkan lateks kopolimer dari metakrilat dan asetamin serta memiliki metode yang spesifik untuk menggabungkan makromer di rantai polimer (David *et al.*, 2002).

Salah satu jenis fotopolimerisasi adalah fotopolimerisasi insitu. Proses fotopolimerisasi secara insitu adalah suatu proses polimerisasi secara bulk dengan mengedepankan kondisi struktur molekul tertentu pada perlakuan yang sudah diberikan dengan bantuan energi dari cahaya atau gelombang radiasi. Fotoinisiasor akan berinisiasi menghasilkan radikal bebas yang diperlukan untuk terjadinya polimerisasi radikal (proses curing). Polimerisasi massa (*bulk*) merupakan cara yang langsung dan paling sederhana untuk mengubah monomer menjadi polimer. Biasanya bahan baku untuk reaksi polimerisasi massa terdiri dari monomer, inisiator yang dapat larut dalam monomer, dan atau agen pemindah rantai (*chain-transfer agent*).

Polimerisasi dengan menggunakan radikal bebas, sangat dipengaruhi oleh suhu, nilai pH, konsentrasi monomer dan media polimerisasi (Handayani, 2010). Tahapan yang terjadi pada polimerisasi adisi radikal bebas sebagai berikut:

1. Tahap Inisiasi

Tahap inisiasi merupakan tahap pembentukan spesi aktif karena adanya energi foton. Tahap ini melibatkan adanya pembentukan radikal bebas. Inisiasi polimerisasi radikal bebas dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu pemanasan monomer dan penambahan inisiator yang akan membentuk radikal bebas ketika diradiasikan. Radikal inisiator atau radikal primer berasal dari inisiator. pada tahap inisiasi ini menghasilkan pembentukan rantai kation atau anion.



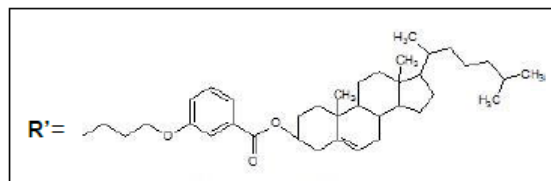
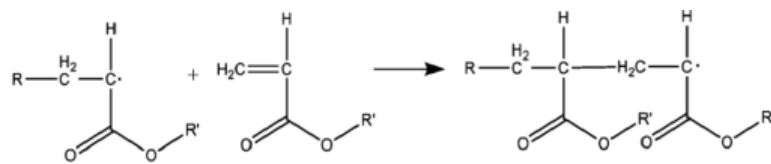
Gambar 8. Mekanisme Reaksi Inisiasi (a) Fotoinisiator (b) Inisiasi Radikal Fotoinisiator ke Monomer Kolesteril Akrilat.

. Pada penelitian ini menggunakan inisiator darocure 1173. Fotoinisiator ini berupa larutan tidak berwarna dan peka terhadap cahaya sehingga proses pengolesan ke plat kaca juga harus berada di ruang tertutup. Sebagian besar fotoinisiator radikal yang digunakan pada metode *UV curing* terdiri dari gugus keton aromatik yang dapat menghasilkan radikal bebas pada paparan sinar UV baik dengan pemisahan homolitik ikatan C-C atau oleh hidrogen dari molekul pendonor-H. Fotoinisiator yang digunakan pada penelitian ini adalah *2-Hydroxy-2-methylpropiophenone* (darocure 1173) 97% yang dikeluarkan oleh Aldrich.

Fotoinisiator ini akan terpapar energy foton yang berasal dari lampu UV dan mengalami pemutusan ikatan C-C secara homolitik sehingga menghasilkan spesi radikal yang tidak bermuatan. Pemisahan homolitik ini berdasarkan kestabilan radikalnya, yaitu radikal sekunder kemudian tersier.

2. Tahap propagasi

Tahap propagasi merupakan tahap reaksi yang cepat karena radikal yang terbentuk menyerang molekul lain dan menghasilkan radikal baru. Monomer yang telah bereaksi dengan radikal bebas bereaksi dengan molekul lain sehingga terjadi perpanjangan rantai (Handayani, 2010). Banyaknya daur (cycle; yakni jumlah berulangnya tahap-tahap propagasi) disebut panjang rantai. Panjang rantai suatu radikal bebas bergantung sebagian pada energi radikal-radikal yang terlibat dalam propagasi (Fessenden & Fessenden, 1982).



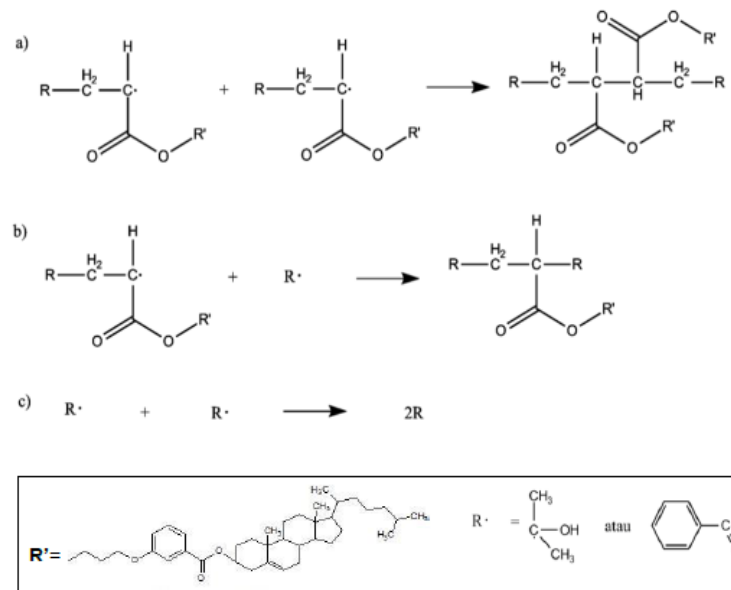
Gambar 9. Mekanisme Reaksi Propagasi *Head to Tail* (Kepala ke Ekor) Polimer Kolesterol Akrilat.

Zat antara radikal bebas yang lebih stabil berarti keadaan normal berenergi lebih rendah dan laju reaksi yang lebih tinggi. Serangan radikal bebas akan menyebabkan dua reaksi, yaitu menghasilkan radikal bebas primer yang kurang stabil dan menghasilkan radikal bebas sekunder yang lebih stabil. Pembentukan berulang radikal ini mengakibatkan penggabungan secara kepala dan ekor (*head to tail*) monomer-monomer kolesterol akrilat (Fessenden & Fessenden, 1982).

3. Tahap Terminasi

Tahap terminasi merupakan tahap pengakhiran dimana radikal bebas menjadi radikal bebas tak reaktif akibat pertemuan antar radikal. Pada tahap terminasi ini spesi pusat aktif akan habis bereaksi sehingga perpanjangan rantai akan terhenti. Tahap terminasi akan menghasilkan molekul polimer tanpa pusat radikal.

Pada tahap terminasi ini terjadi proses pemutusan rantai. Terminasi terjadi karena reaksi penggabungan reaktan radikal yang membentuk molekul tunggal. Tahapan reaksi dari polimerisasi adisi berakhir dengan cara disproporsionasi yaitu terbentuk dua produk yang berbeda atau dengan cara kombinasi sehingga tidak ada lagi pusat radikal. Tahap terminasi akan menghasilkan molekul polimer tanpa pusat radikal.

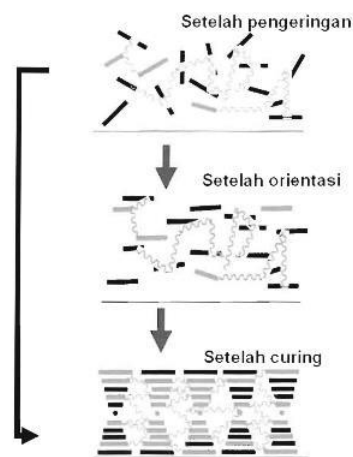


Gambar 10. Mekanisme Reaksi Terminasi Polimer Kolesteril Akrilat (a) sesama radikal monomer (b) radikal monomer dengan radikal fotoinisiator (c) sesama radikal fotoinisiator.

E. Metode *UV Curing*

Teknik *UV Curing* merupakan macam dari teknik curing. Teknik ini merupakan teknik polimerisasi dengan sistem kimia yang diinisiasi oleh cahaya. Curing merupakan istilah untuk transformasi dari cair ke padat dengan cepat, sehingga metode *UV curing* adalah teknik polimerisasi menggunakan sinar UV. *Ultraviolet curing* (umumnya dikenal sebagai *UV curing*) adalah proses fotokimia dengan menggunakan sinar ultraviolet dengan intensitas tinggi. *UV curing* telah menggantikan proses pengeringan termal konvensional berbasis pelarut (Chemicals, 2002)

Radiasi *UV curing* pada dasarnya terdiri dari polimerisasi fotoionisasi dari monomer multifungsi yang diubah menjadi jaringan polimer tridimensional. Fotoinisiator digunakan untuk menyerap radiasi UV dan mengalami pembelahan spesies reaktif, radikal bebas atau asam protonik, yang masing-masing akan mengalami reaksi polimerisasi cross-linking menurut mekanisme radikal atau kationik. Setelah terjadi reaksi radikal, langkah-langkah berikut (rantai propagasi dan terminasi) pada dasarnya akan sama seperti pada polimerisasi konvensional (Decker, 2006)



Gambar 11. Mekanisme *UV Curing* (Riswoko, 2010)

Dalam reaksi fotopolimerisasi, proses polimerisasi diinduksi oleh cahaya pada daerah UV, tampak (*visible*), sampai IR namun, sinar yang paling banyak digunakan adalah sinar UV. Ketika dikenai berkas sinar UV, kebanyakan monomer tidak menghasilkan spesi yang tinggi ketika terpapar sinar UV, sehingga perlu ditambahkan fotoinisiator. Fotoinisiator menyerap energi UV dari sumber cahaya dan mengatur reaksi kimia yang cepat dengan mengubah formulasi cair menjadi padat sehingga terbentuk sebuah material berupa film. Sebagian besar formulasi terdiri dari monomer dan oligomer.

F. Peran Fotoinisiator

Fotoinisiator adalah senyawa yang secara khusus ditambahkan pada suatu reaksi untuk menyerap energi cahaya baik itu cahaya tampak ataupun sinar UV untuk membentuk suatu spesi inisiasi. Inisiasi adalah tahap awal reaksi radikal,

sedangkan spesi inisiasi yang dihasilkan berupa radikal anion atau kation. Energi sinar UV yang dipancarkan akan diserap oleh fotoinisiator sehingga menyebabkan fragmen menjadi spesies reaktif. Spesies ini dapat berupa radikal bebas atau kationik. Sebagian besar sistem didasarkan pada radikal bebas yang bereaksi dengan senyawa tak jenuh dalam formulasi cair dan menyebabkan terjadinya polimerisasi.

Reaksi fotoinisiasi pada proses polimerisasi menggunakan cahaya untuk menghasilkan radikal bebas memulai proses polimerisasi, berdasarkan mekanisme pembentukan radikalnya, secara umum fotoinisiator dibagi atas 2 kelas yaitu:

a. Fotoinisiator Tipe I

Fotoinisiator tipe ini menjalani pemutusan ikatan unimolekular saat diradiasi untuk menghasilkan radikal bebas. Mekanisme reaksi ini juga disebut sebagai reaksi Norris tipe I, yaitu pemecahan homolitik antara gugus karbonil dan karbon α terdekat yang menghasilkan dua spesi radikal, sedangkan pemecahan heterolitik adalah pemecahan yang melibatkan pasangan elektron sehingga akan selalu berkaitan dengan ion positif dan ion negatif.

b. Fotoinisiator Tipe II

Fotoinisiator tipe ini menjalani reaksi bimolekular dimana fotoinisiator yang berada dalam keadaan tereksitasi berinteraksi dengan molekul kedua (suatu koinisiator) untuk menghasilkan radikal bebas. Reaksi ini juga disebut sebagai reaksi Norris tipe II. Dalam mekanisme abstraksi hydrogen biasanya fotoinisiator ditambah senyawa yang bersifat fotosinergis yang berfungsi sebagai donor hydrogen, biasanya senyawa amina khususnya amina tersier biasanya ditambahkan sebagai fotosinergis.

Inisiator radikal bebas yang biasanya digunakan adalah resin gugus akrilat atau metakrilat dan juga dapat digunakan dengan resin poliester tak jenuh. Jenis fotoinisiator yang digunakan bergantung jenis panjang gelombang yang diserap dan kekuatan penyerapannya (koefisien molar). Fotoinisiator yang dikembangkan untuk *UV curing* biasanya memiliki koefisien molar yang tinggi dengan panjang gelombang 300 nm - 450 nm.

Sebagian besar fotoinisiator radikal yang digunakan pada *UV curing* terdiri dari keton aromatik yang dikenal untuk menghasilkan radikal bebas pada paparan sinar UV baik dengan pemisahan homolitik ikatan C-C atau oleh hidrogen dari molekul pendonor-H.

Efisiensi fotoinisiator harus menyerap radiasi yang dipancarkan oleh sumber cahaya dan menghasilkan radikal. Rumus kimia dari fotoinisiator radikal yang dipakai dalam percobaan ini disajikan pada gambar 15. Fotoinisiator darocure 1173 merupakan fotoinisiator yang paling efisien untuk reaksi polimerisasi karena termasuk kedalam inisiator golongan benzoin (Nurdelima, 2013). Fotoinisiator Darocure 1173 yang merupakan senyawa derivat aseton dengan nama kimia 2-hidroksi-2-metil-fenilpropanon atau 2,2-dimetil-2-hidroksi-asetofenon. Fotoinisiator ini mengabsorpsi energi sinar UV, sehingga fotoinisiator tereksitasi dan mengalami mekanisme reaksi tipe 1 (Ciba Specialty Chemicals, 2003). Fotoinisiator tereksitasi ini menghasilkan suatu radikal bebas dengan prapolimer dan monomer pengencer sehingga terbentuk polimer berikatan silang.

G. Polimer

Polimer merupakan molekul besar yang tersusun dari pengulangan unit kimia sederhana dan kecil. Dalam beberapa kasus pengulangan bersifat linier, sama seperti rantai yang disusun dari kaitannya. Dalam kasus lain, rantai bercabang atau saling berhubungan membentuk jaringan tiga dimensi. Unit pengulang dari polimer biasanya setara atau hampir setara dengan monomer. Contoh poli (vinil klorida) adalah $--CH_2CHCl--$, monomernya adalah vinil klorida, $CH_2=CHCl$. Panjang rantai polimer ditentukan oleh jumlah unit berulang dalam rantai. Hal ini disebut derajat polimerisasi (DP). Berat molekul polimer merupakan produk dengan berat molekul unit berulang dan DP. Sebagian besar polimer tinggi yang berguna untuk plastik, karet, atau serat memiliki berat molekul antara 10.000 dan 1.000.000.

Berat molekul polimer dapat ditentukan dengan metode kimia ataupun fisika analisis kelompok fungsional, dengan menggunakan pengukuran sifat

koligatif, hamburan cahaya, ultrasentrifugasi, pengukuran viskositas larutan encer, GPC (*Gel permition cromatograph*), dan polielektrolit.

H. Fungsi Dopan untuk Polimer Kristal Cair

Dopan merupakan suatu inklusi atau pengisi atau filler yang dapat memperbaiki sifat polimer sehingga dihasilkan suatu produk yang sifatnya lebih unggul dibandingkan polimer murninya. Dalam hal ini dopan konduktif merupakan bahan pengisi yang dapat memperbaiki sifat konduktivitas suatu polimer Kristal cair, yakni dari sifat isolator menjadi sifat konduktor. Hal ini ditempuh dengan menambahkan dopan yang bersifat semikonduktor/ konduktor (Petkoska A. T., 2008).

Dopan konduktif diklasifikasikan menjadi 3 yaitu dopan semikonduktor (contohnya : Carbon Black (CB), Carbon Nanotubes), dopan non-konduktif namun memiliki sifat dielektrik yang tinggi (BaTiO₃, TiO₂), dopan logam (Carbonyl Iron (CI), ITO, dan serpihan logam Al). Daftar beberapa dopan, ukuran dan nilai konduktivitasnya terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Beberapa Dopan untuk Polimer Kristal cair

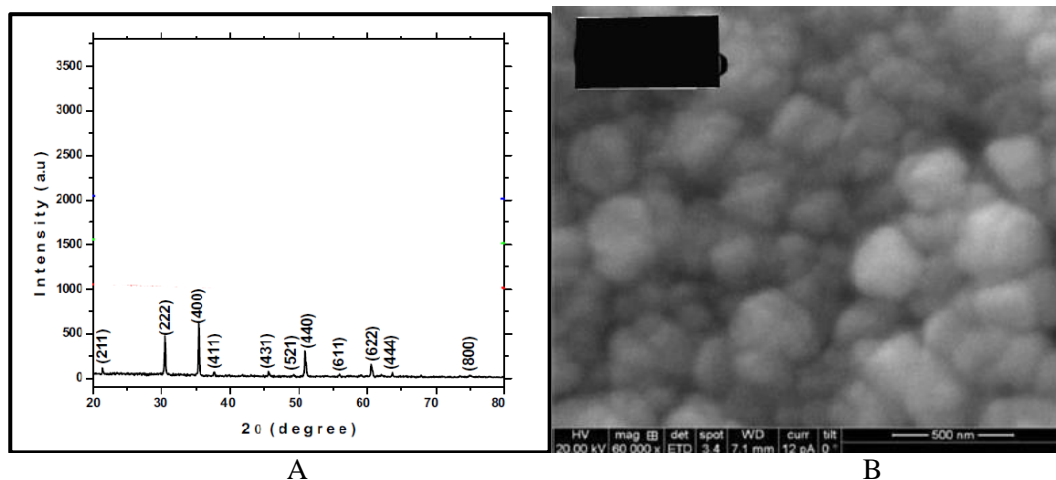
Dopant	Ukuran Partikel	ϵ, σ	Densitas (kg/m ³)
Carbon Black, Vulcan PA 90 (CB VPA)	17 nm	NA	1800
Carbon Black Monarch 120 (CB M)	75 nm	NA	1800
Single Walled Carbon Nanotubes (SWNT-1)	1,4nm x 2-5 μ m	NA	1800
Single Walled Carbon Nanotubes (SWNT-2)	1,1 nm x 0,5-100 μ m	NA	1800
Multi Walled Nanotube (MWNT)	o.d. 10-20nm x.i.d. 5-10nm x l. 0,5-200 μ m	NA	2100
BaTiO ₃ (BT-1)	70 nm	$\epsilon= 150$	6000
BaTiO ₃ (BT-2)	1-1,1 μ m	NA	5900
BaTiO ₃ (BT-3)	1,25-1,75 μ m	NA	6080
TiO ₂ – 1	30 nm	200-160	4230
TiO ₂ – 2	10 nm x 40 nm	NA	4230
Carbonyl Iron (CI-HQ)	1,1 μ m	NA	7000
Indium Tin Oxide- ITO	3,38 μm	NA	1200
Serpihan logam Aluminium	12 μ m	NA	2700

*NA = No data

I. Indium Tin Oxide (ITO) dan Sifat Konduktivitasnya

Indium tin oxide (ITO) merupakan bahan oksida konduktif transparan *n*-tipe yang terkenal. ITO merupakan pencampuran antara 90% indium oksida (In_2O_3) dan 10% timah oksida (SnO_2), timah berfungsi sebagai dopan kationik di kisi indium oksida dan sebagai pengganti indium untuk mengikat oksigen interstitial. Karena transmitansi optiknya tinggi, konduktivitas listrik dan celah pita lebar ($>3,5$ eV). ITO telah banyak diterapkan pada berbagai perangkat optoelektronik seperti sel fotovoltaik, *liquid crystal display* (LCD), dan sensor gas (Thirumoorthi & Prakash, 2016).

Beberapa penelitian mengenai ITO telah berkembang, salah satunya penelitian yang membuat lapisan film tipis ITO dengan menggunakan metode *jet nebulizer spray pyrolysis*. Hasilnya, pola difraksi sinar-X dan *micrograph* film ITO yang dibuat dengan menggunakan metode *jet nebulizer spray pyrolysis* (Thirumoorthi & Prakash, 2016), ditunjukkan pada gambar.



Gambar 12. Pola Difraksi sinar-X (A) dan micrograph (B) film ITO substrat si tipe-n (Thirumoorthi & Prakash, 2016)

Pada gambar menunjukkan pola difraksi sinar-X dari ITO, dengan bidang kisi (222) yang merupakan struktur *bodycentered cubic* (bcc) dengan puncak pada 2θ daerah 30,52. Selain itu terdapat bidang kisi lainnya yaitu (400), (440), (611), dan (622). Pada gambar menunjukkan morfologi permukaan seragam dengan partikel bulat yang terdefinisi dengan baik.

J. Instrumen Karakterisasi

1. *Fourier Transmission Infrared (FTIR)*

Fourier transform infra red (FTIR) merupakan metode analisis spektroskopi dengan menggunakan sinar infra merah. Pada metode spektroskopi FTIR, energi yang diserap sampel pada berbagai frekuensi sinar inframerah direkam, kemudian diteruskan ke interferometer. Interferometer ini mengubah intensitas sumber inframerah dengan mengubah dari posisi cermin pemantul yang memantulkan sinar dari sumber sinar ke sampel. Keberadaan interferometer membuat spektrometer mampu mengukur semua frekuensi optik secara serempak dengan mengatur intensitas dari semua frekuensi tunggal sebelum sinyal mencapai detektor. Hasil scanning dari interferometer ini berupa interferogram yang merupakan plot antara intensitas dan posisi cermin, sedangkan proses fourier akan mengubah interferogram menjadi spektrum antara intensitas dan frekuensi.

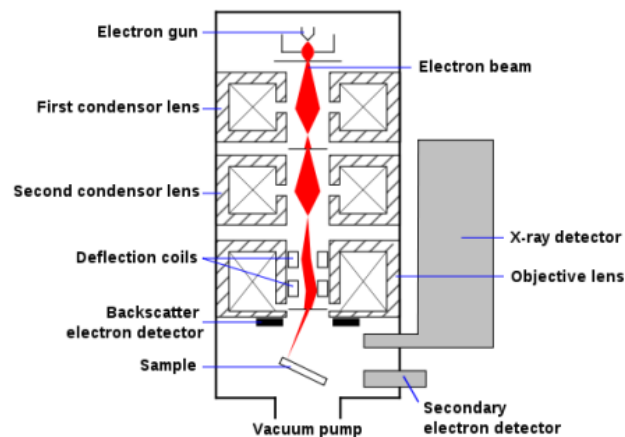
Instrumen FTIR digunakan untuk menentukan gugus-gugus fungsional yang ada pada suatu senyawa. Keunggulan FTIR dibanding spektroskopi inframerah lain diantaranya yaitu lebih cepat karena pengukuran dilakukan secara serentak (simultan), serta mekanik optik lebih sederhana dengan sedikit komponen yang bergerak, akurat, bersifat tidak merusak sampel, membutuhkan preparasi sampel yang sederhana, ramah terhadap lingkungan karena penggunaan bahan-bahan yang sedikit.

2. *SEM (Scanning Electron Microscope)*

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk mengamati permukaan objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10–3.000.000 kali, *depth of field* 4–0.4 mm dan resolusi sebesar 1–10 nm. SEM bekerja berdasarkan prinsip scan sinar elektron pada permukaan sampel, yang selanjutnya informasi yang didapatkan diubah menjadi gambar.

Prinsip kerja dari SEM adalah *Electron gun menghasilkan electron beam dari filamen*. Pada umumnya *electron gun* yang digunakan adalah *tungsten*

hairpin gun dengan filamen berupa lilitan *tungsten* yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan yang diberikan kepada lilitan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel. Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel, maka akan terjadi hamburan elektron, baik *Secondary Electron (SE)* atau *Back Scattered Electron (BSE)* dari permukaan sampel dan akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor CRT.



Gambar 13. Skema SEM

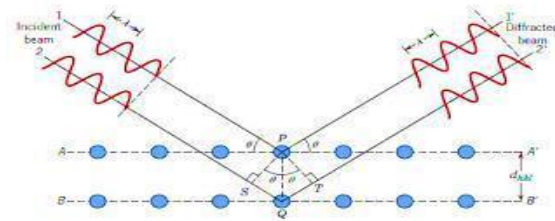
3. *X-ray Diffractometer (XRD)*

X-ray Diffractometer (XRD), merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun non-kristalit, seperti identifikasi struktur kristalit (kualitatif) dan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar X.

Gambar 14 dapat mendeskripsikan bahwa sinar datang yang menumbuk pada titik bidang pertama dan dihamburkan oleh atom P. Sinar datang yang kedua menumbuk bidang berikutnya dan dihamburkan oleh atom Q, sinar ini menempuh jarak $SQ + QT$ bila dua unsur tersebut paralel dan satu fasa. Berdasarkan persamaan Bragg's law dapat mengetahui sudut datang pada

bidang kisi (θ), maka dengan ini dapat mengestimasi jarak antara dua bidang planar kristal (d_{001}). Kristal memiliki susunan atom yang teratur, baik dalam jarak maupun arah orientasi bidang. Indeks hkl merupakan bidang yang dibentuk oleh susunan atom (Prasada, 2012).

Berkas sinar datang



Bidang hkl

Gambar 14. Difraksi Sinar X pada Kristal

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2016 sampai dengan Mei 2017 di Laboratorium Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta.

B. Metode Penelitian

Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) Membuat monomer kolesteril akrilat.
- 2) Membuat komposit polimer kolesteril akrilat dengan dopan ITO
- 3) Fotopolimerisasi komposit polimer kolesteril akrilat-ITO dengan metode UV *curing*.
- 4) Karakterisasi polimer kolesteril akrilat-ITO.

1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat-alat analisis seperti FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada poly-(kolesteril akrilat), SEM (Scanning Electron Microscopy) untuk mengetahui morfologi permukaan film, XRD (X-Ray Diffraction) untuk mengidentifikasi fasa kristalin dan LCR meter untuk mengetahui nilai resistivitas maupun konduktivitas komposit polimer. Beberapa alat yang digunakan untuk proses fotopolimerisasi insitu dengan metode UV curing antara lain: lampu merkuri 1 kW, hotplate, kotak hitam, dan plat kaca.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah klorobutil asetat, etil hidroksi benzoate, KI, K₂CO₃, etanol, KOH, HCl pekat, asam akrilat, PTSA (asam p-toluen-sulfonat), hidrokuinon, benzene, petroleum eter, DMAP (N,N-dimetilpiridin-4-amina, DCC (N,N-disikloheksilkarbodiimida), methanol, heksana, isopropyl, pelarut diklorometan *pure grade*, inisiator Darocure 1173,

dopan ITO dan kolesterol diperoleh dari Aldrich dengan kemurnian 97%.

2. Prosedur Penelitian

1) Sintesis monomer kolesteril akrilat

a. Pembuatan precursor akrilat

Sintesis prekursor akrilat sesuai dengan referensi U.S. Patent 5 766 679 untuk menggantikan cara lama menggunakan tionil klorida dan mesitil klorida yang termasuk kategori *red zone* (bahan kimia yang dilarang untuk diimpor) di Indonesia.

i. Pembentukan eter Williamson dan hidrolisisnya

Sebanyak 30 gram klorobutil asetat dicampurkan dengan 27,05 gram etil hidroksi benzoat, 0,35 gram KI, dan 26,92 gram K₂CO₃ dalam 300 mL pelarut DMF (dimetil formamida), lalu dimasukkan dalam labu alas bulat leher tiga yang terhubung dengan pendingin Liebig. Campuran direfluks selama 5 jam pada suhu 90°C. Campuran kemudian dimasukkan ke dalam air dingin dan disimpan dalam lemari es selama 24 jam. Campuran disaring, endapan yang diperoleh dilarutkan dalam 300 mL etanol dan ditambahkan 45 gram KOH. Campuran kemudian distirer selama 3 jam pada suhu ruang, lalu ditambahkan HCL pekat hingga pH 5. Campuran disaring, filtrat dan endapan yang diperoleh diuji dengan KLT. Endapan yang diperoleh dikeringkan dan ditimbang massanya.

ii. Akrilasi

Sebanyak 7,46 gram (0,0355 mol) padatan putih yang dihasilkan selanjutnya direaksikan dengan 19,58 gram (0,2717 mol) asam akrilat, 0,85 gram (0,0045 mol) PTSA, dan 0,07 gram (0,0006 mol) hidrokuinon dalam 112 mL benzena lalu dimasukkan dalam labu alas bulat leher tiga yang terhubung dengan pendingin Liebig. Campuran reaksi direfluks selama 5 jam pada suhu 85°C, campuran tersebut ditambahkan petroleum eter kemudian distirer kembali.

Campuran tersebut kemudian di saring, endapan dan filtrat yang dihasilkan di analisis dengan KLT, eluen yang digunakan yaitu Heksan:Etil asetat=5:5. Produk lalu direkristalisasi menggunakan pelarut isopropanol, dan padatan yang diperoleh ditimbang massanya.

b. Pembuatan kolesteril akrilat

Sebanyak 1 gram prekursor akrilat, akriloloksi butiloksi benzoat (ABB), direaksikan dengan 100 mL pelarut diklorometana dan 0,86 gram DCC, lalu dimasukkan dalam labu alas bulat leher tiga yang terhubung dengan pendingin Liebig. Sebelumnya dikondisikan terlebih dahulu labunya agar saat memulai pengadukan dengan stirrer dimulai pada suhu 0-50C. kemudian setelah dimasukkan dalam labu alas bulat dan bercampur, lalu distirrer selama 30 menit pada suhu 0-50C. Campuran lalu ditambahkan kolesterol sebanyak 1,5 gram dan DMAP sebanyak 0,1 gram lalu distirrer kembali selama 5 jam pada suhu ruang. Setelah itu, produk disaring dan filtrat yang terbentuk diuapkan hingga terbentuk endapan coklat. Endapan tersebut ditambahkan metanol dan dipanaskan hingga larut. Campuran yang terbentuk didinginkan dalam lemari es hingga terbentuk kristal dan disaring. Endapan dan filtrat yang dihasilkan lalu dimurnikan dengan kromatografi kolom menggunakan eluen Heksan:Etil asetat = 5:1. Kemudian produk yang terbentuk direkristalisasi dengan pelarut metanol.

2) Pembuatan Larutan Komposit Polimer dengan Metode Casting Solution

Sampel preparat dibuat dari monomer kristal cair kolesteril akrilat sebanyak 10 mg yang dilarutkan menggunakan pelarut diklorometan pure grade di sebuah gelas kimia kecil. Kemudian ditambahkan 1 μ L inisiator darocure 1173 dan dopan ITO. Selanjutnya larutan diorientasikan di atas plat kaca preparat. Kemudian plat kaca preparat dimasukan ke dalam rangkaian alat UV curing.

3) Fotopolimerisasi kolesteril akrilat dengan metode UV Curing

Sampel preparat dibuat sebanyak lima buah karena ada perlakuan dari variasi waktu penyinaran. Setiap satu sampel preparat terdiri dari komposit polimer kristal cair kolesteril akrilat dengan ITO sebanyak 20 mg yang dilarutkan menggunakan pelarut diklorometan pure grade di sebuah gelas kimia kecil. Selanjutnya larutan diorientasikan di atas plat kaca preparat. Kemudian plat kaca preparat dimasukkan ke dalam alat UV curing. Waktu penyinaran sinar dari lampu merkuri bervariasi yaitu pada 15, 20, 25, 30 dan 35 menit pada masing-masing sampel. Hasil dari proses ini berupa material film yang selanjutnya akan dikarakterisasi.

4) Karakterisasi Film dengan FTIR

Struktur dari polimer kolesteril akrilat dikarakterisasi untuk mengetahui gugus fungsi menggunakan FTIR dengan pelet kalium Bromida (KBr).

5) Karakterisasi Film dengan SEM (Scanning Electron Microscope)

SEM digunakan untuk menganalisis morfologi permukaan film.

6) Karakterisasi Film dengan XRD

Pola XRD dari polimer kolesteril akrilat dilakukan dengan menggunakan Shimadzu XRD 7.000. Difraktometer dilengkapi dengan anoda tembaga $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.54 \text{ \AA}$), difraksi balok monokromator nikel datar, dan detektor. Sampel diletakan secara horisontal.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini disajikan data hasil penelitian dan pembahasannya meliputi pembuatan monomer kolesteril akrilat untuk memperbanyak Kristal cair yang sudah disintesis oleh peneliti sebelumnya yaitu Riswoko dkk (2010), pembuatan monomer kolesteril akrilat terdiri dari dua tahapan yaitu sintesis prekursor akrilat dan kolesteril akrilatnya. Kemudian pembuatan komposit kolesteril akrilat-ITO dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya konsentrasi dopan ITO, konsentrasi monomer kolesteril akrilat, waktu fotopolimerisasi, dan daya lampu pada proses fotopolimerisasi. Pada penelitian ini menggunakan radiasi sinar UV dengan variasi waktu fotopolimerisasi yaitu 15, 20, 25, 30, dan 35 menit. Setelah dipolimerisasi dilakukan karakterisasi komposit polimer kolesteril akrilat-ITO, serta uji komposit polimer kolesteril akrilat-ITO.

A. Sintesis Kolesteril Akrilat

Sintesis monomer kolesteril akrilat dimulai dengan pembuatan prekursor akrilat yaitu membuat prekursor asam akrililoksi butiloksi benzoat (ABB) dengan dua tahapan, tahap pertama pembentukan eter Williamson dilakukan dengan mereaksikan klorobutil asetat (CBA) dengan etil p-hidroksi benzoate (EHB), KI, serta K_2CO_3 sebagai katalis. Reaksi yang terjadi pada pembentukan eter Williamson yaitu pelepasan gugus halida pada CBA dan berikatan dengan ion fenoksi dari EHB membentuk ikatan -O- eter. Pembentukan eter Williamson mengalami reaksi substitusi nukleofilik (S_N2) yang merupakan reaksi bimolekular dengan ketelibatan suatu alkil halida primer pada CBA dan suatu fenoksida pada EHB (Fessenden, 1982). Eter yang terbentuk kemudian dihidrolisis dengan basa kuat KOH menghasilkan garam butiloksi benzoat ($KO(CH_2)_4OC_6H_4COOK$) dan etanol (C_2H_5OH). Garam butiloksi benzoat selanjutnya diasamkan dengan HCl pekat hingga pH 5.

Tahap kedua yaitu tahap akrilasi yang menggunakan asam akrilat, *p-Toluen Sulfonic Acid (pTSA)* yang berfungsi sebagai katalis dan mengikat dari

hasil reaksi, dan hidrokuinon berfungsi untuk menangkal radikal bebas yang dapat terbentuk dari reaksi yang melibatkan ikatan rangkap pada asam akrilat karena pada hidrokuinon memiliki awan phi (π) aromatik dan kemampuan delokalisasi elektron yang baik. Produk yang dihasilkan yaitu berupa endapan berwarna putih kecoklatan sebanyak 12,3056 gram.

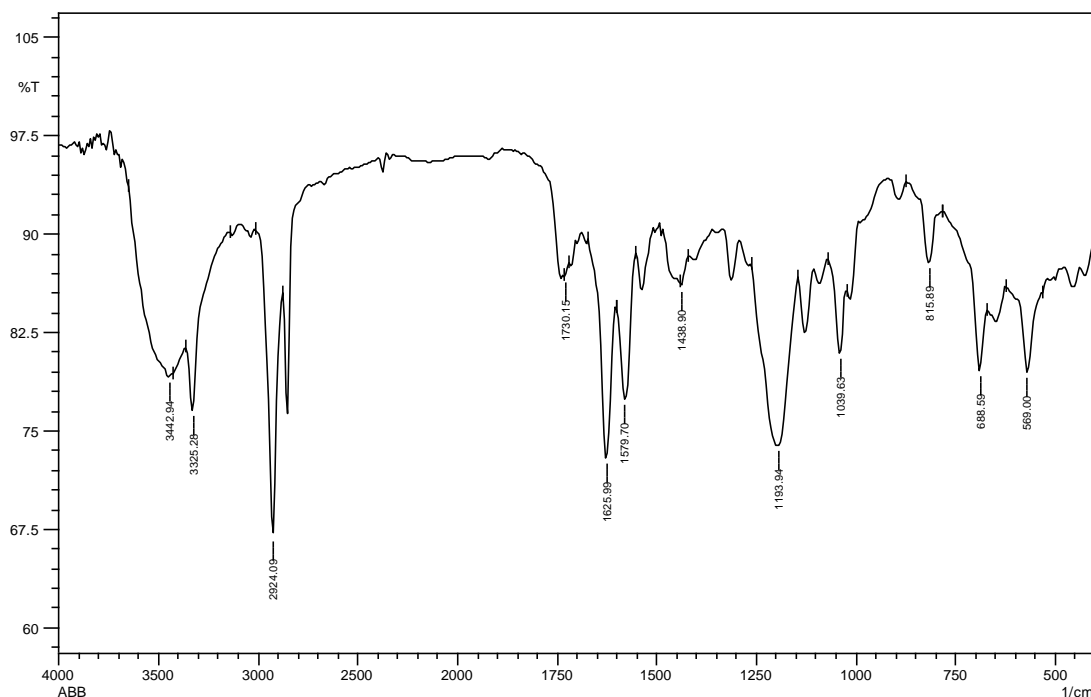
Struktur senyawa ABB hasil sintesis kemudian diamati dengan instrument FTIR dan hasilnya ditunjukkan pada tabel 2 dan gambar 15. Hasil FTIR menunjukkan terdapat puncak pada bilangan gelombang.

Tabel 2. Spektrum serapan IR senyawa ABB

Daerah serapan (cm ⁻¹) referensi	Daerah serapan (cm ⁻¹)	Jenis serapan	Ikatan
3433	3442,94	Kuat melebar	O-H
2955	2924,09	Kuat dan tajam	C-H aromatic
2886,75-2562,88	2800	Medium	C-H alifatik
1732 dan 1689	1730,15	Kuat dan tajam	C=O
1607	1625,99	Medium	C=C
1579,36-1431,06	1579,70-1438,90	Beberapa puncak tajam	C=C aromatic
1295-1174	1193,94	Medium lebar	C-O
851,08	815,89	Tajam	Benzena tersubstitusi para

Berdasarkan hasil uji FTIR, terdapat puncak pada daerah bilangan gelombang 3442,94 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi dari ikatan O-H dengan puncak melebar. Puncak pada bilangan gelombang 2924,09 cm⁻¹ merupakan vibrasi dari ikatan C-H aromatik, sedangkan puncak pada bilangan gelombang 2800 cm⁻¹ merupakan vibrasi dari ikatan C-H alifatik dengan puncak yang bersifat medium. Munculnya puncak pada bilangan gelombang 1730,15 cm⁻¹ menunjukkan terdapat gugus karbonil, puncak pada bilangan gelombang 1625,99 cm⁻¹ merupakan vibrasi dari ikatan C=C yang diperoleh dari hasil akrilasi, kemudian terdapat puncak pada bilangan gelombang 1193,94 cm⁻¹ menunjukkan adanya ikatan C-O baik eter, ester, maupun asam yang telah dibuktikan terlebih dahulu dengan adanya O-H. Selain itu terdapat puncak-puncak pada bilangan gelombang 1579,70-1438,90 cm⁻¹ menunjukkan ikatan C=C aromatik dan diperkuat dengan adanya puncak pada bilangan gelombang 815,89 cm⁻¹ mengindikasikan bahwa

prekursor ABB yang dihasilkan merupakan senyawa derivat benzena yang tersubstitusi para.



Gambar 15. Spektrum FTIR ABB

Sintesis selanjutnya yaitu sintesis monomer kolesteril akrilat menggunakan prekursor akrilat, pelarut diklorometana, dan disikloheksilkarbodimida (DCC). Tahap ini dilakukan dengan cara mencampurkan dengan stirrer selama 30 menit pada suhu 0-5°C. Suhu tersebut digunakan karena titik uap pelarut diklorometana lebih rendah dari suhu kamar sehingga dapat mengurangi volume pelarut, selain itu dapat mengganggu reaksi dari DCC dan prekursor akrilat jika suhu naik. Tahap selanjutnya adalah menambahkan kolesterol dan N,N-4-dimetil amino piridin (DMAP) ke dalam campuran kemudian direfluks selama 5 jam pada suhu ruang. Sintesis monomer kolesteril akrilat dilakukan dengan metode esterifikasi *Steglich* yang melibatkan DCC dan DMAP. Metode ini digunakan untuk sintesis Kristal cair feroelektrik karena bersifat ringan, dapat berlangsung pada suhu ruang, pembentukan produk samping dapat ditekan, dan dapat menghasilkan rendemen produk yang tinggi. Penambahan DMAP sebagai agen transfer gugus asil dan hidrokuinon sebagai gugus alkohol yang akan memberikan produk senyawa stabil disikloheksil urea

(DHU) berupa endapan putih dan ester akan larut pada diklorometana. Sedangkan komponen yang berfungsi sebagai inisiator dalam reaksi dengan prekursor akrilat (golongan karboksilat) yaitu DCC yang akan membentuk senyawa intermediet yang memiliki kereaktifan yang besar (Husniati, 2008).

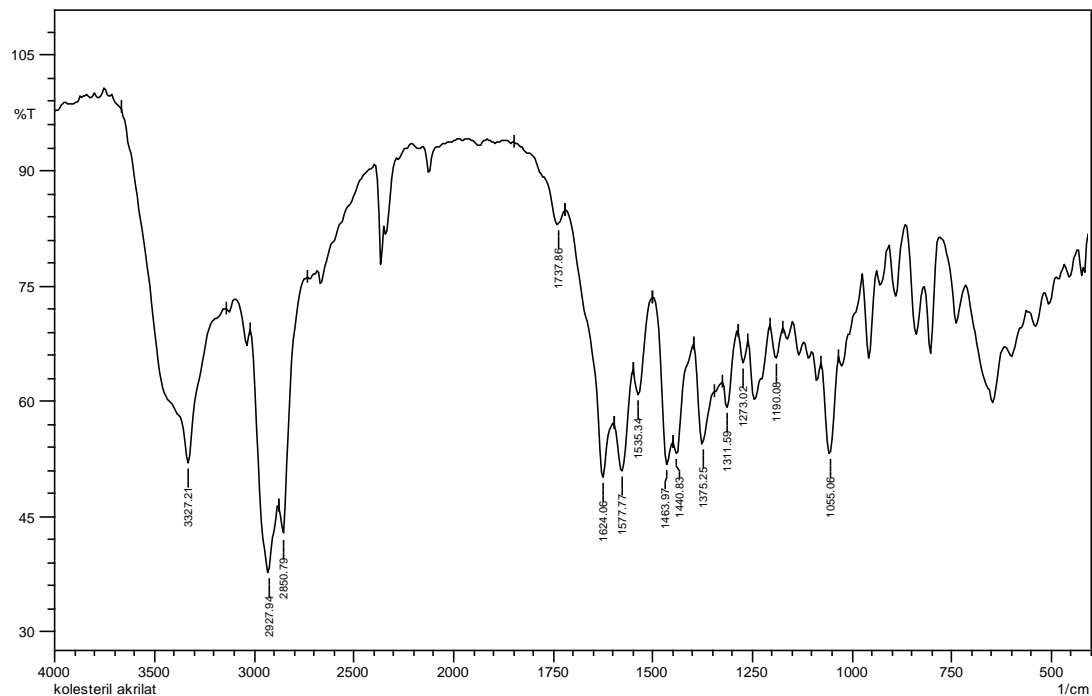
Hasil kolesteril akrilat berupa endapan yang kemudian dimurnikan dengan menggunakan kromatografi kolom. Kromatografi kolom ini dilakukan dengan menggunakan fasa diam berupa bubuk alumina dan fasa gerak berupa eluen campuran dari n-heksana dan etil asetat dengan perbandingan 5;1. Massa kolesteril akrilat yang dihasilkan sebesar 3,82 gram. Monomer Kolesteril Akrilat ini diuji dengan FTIR untuk mengidentifikasi gugus-gugus fungsi yang terdapat pada Kolesteril Akrilat dan hasilnya ditunjukkan pada tabel 3 dan gambar 16.

Tabel 3. Puncak-puncak serapan spectrum *Infra Red* pada sampel kolesteril akrilat

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹) ¹) Referensi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹) ¹) KA	Jenis serapan	Ikatan
-	3327,21	Kuat dan tajam	O-H
3522	2927,94	Kuat dan tajam	C-H (sp ²)
2800-2600	2850,79	Kuat dan tajam	C-H (sp ³)
1720	1737,86	Tajam	C=O
1467,85	1375,25	s/d Beberapa puncak tajam	C=C aril
	1624,06		
1204,5	1190,08	Tajam	C-O ester
904,42	927	Tajam dan kuat	Benzene tersubstitusi para

Berdasarkan hasil uji FTIR tersebut, terdapat puncak pada bilangan gelombang 2927,94 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi dari ikatan C-H dari aril maupun vinil, kemudian terdapat puncak 2850,79 yang merupakan vibrasi dari ikatan C-H alifatik. Kedua puncak tersebut memiliki jenis serapan kuat dan tajam, menunjukkan bahwa sampel kolesteril akrilat memiliki banyak ikatan C-H (sp² maupun sp³). Pada bilangan gelombang 1737,86 cm⁻¹ memiliki puncak yang runcing namun tidak kuat, hal ini menunjukkan adanya ikatan C=O. Padabilangan gelombang 1375,25 – 1624,06 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi ikatan C=C. Kemudian bilangan gelombang 1273 – 1190,08 cm⁻¹ merupakan vibrasi iktan C-O

ester maupun vibrasi ikatan C-O karboksilat. Kemudian terdapat puncak khas dari benzena tersubstitusi para yaitu pada bilangan gelombang 927 cm^{-1} .



Gambar 16. Spektrum FTIR Kolesteril Akrilat

B. Fotopolimerisasi dan Karakterisasi Komposit Polimer Kolesteril Akrilat dengan Dopan Indium Thin Oxide

Teknik fotopolimerisasi yang digunakan adalah teknik insitu, yaitu teknik polimerisasi secara polimerisasi massa dengan mengedepankan kondisi struktur molekul tertentu yang sudah diberikan perlakuan dengan bantuan energi dari cahaya atau gelombang radiasi, fotoinisiator akan berinisiasi menghasilkan radikal (proses curing) (Riswoko, 2010). Kelebihan dari teknik polimerisasi ini yaitu proses *curing* yang lebih cepat dan mudah. Energi yang digunakan berasal dari cahaya sinar ultraviolet (UV) yang memiliki panjang gelombang 365 nm. Panjang gelombang tersebut merupakan panjang gelombang pada UV-A, menggunakan sinar UV pada penelitian ini karena sinar UV dapat menginduksi senyawa kolesteril akrilat secara optimal, memiliki energi yang besar yang tidak merusak operator, dan biaya operasional yang relatif murah.

Pencampuran monomer kolesteril akrilat dengan dopan *Indium Thin Oxide* (ITO) dilakukan dengan metode *casting solution*. Metode ini dilakukan dengan cara mencampurkan suatu material dengan material lainnya dalam suatu pelarut tertentu.

Pada penelitian ini monomer kolesteril akrilat dilarutkan dalam 0,4 mL diklorometana dan ditambahkan 1 μ L fotoinisiator darocure 1173. Kemudian dihomogenkan dan ditambahkan dopan *Indium Thin Oxide* (ITO). Setelah homogen, sampel diletakan di atas preparat kaca.

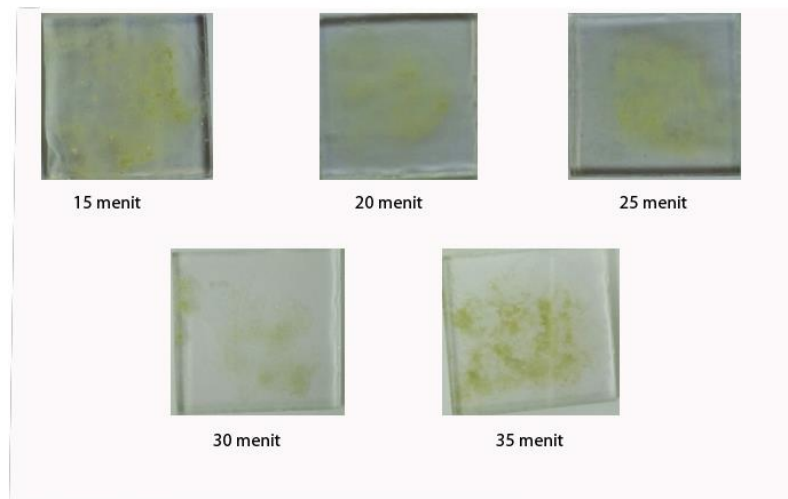
Tahapan selanjutnya yaitu memanaskan plat kaca berisi larutan monomer dan ITO menggunakan *hotplate* pada suhu dengan rentang 60-70°C, mengacu pada penelitian Esti (2016) karena pada rentang suhu tersebut monomer akan mencapai fasa kristal cairnya sehingga monomer akan terpolimerisasi secara optimum.

Sampel dimasukan kedalam radiator dengan *hotplate* yang sudah diatur suhunya. Sampel diradiasi menggunakan sinar UV yang berasal dari lampu UV dengan daya lampu sebesar 55 watt, dalam keadaan tetap dipanaskan. Tahap ini menggunakan metode *UV Curing* dengan variasi waktu 15, 20, 25, 30 dan 35 menit. Produk yang dihasilkan berupa film tipis dengan ketebalan 1,96 mm dan luas penampang sebesar 400 mm².

Pada penelitian ini pembentukan polimer mengalami mengalami reaksi polimerisasi adisi yaitu pemutusan ikatan rangkap. Polimerisasi adisi dipacu oleh suatu intermediet berupa radikal bebas untuk membentuk polimer. Polimerisasi dengan menggunakan radikal bebas, sangat dipengaruhi oleh suhu, nilai pH, konsentrasi monomer dan media polimerisasi (Handayani, 2010).

Reaksi adisi pada kolesteril akrilat membutuhkan inisiator untuk pembentukan pusat reaktif radikal. Pusat reaktif radikal ini akan bereaksi dengan monomer kolesteril akrilat dan membentuk ukuran molekul polimer yang akan bertambah besar. Pada penelitian ini menggunakan fotoinisiator darocure 1173 karena bekerja pada daerah serapan sinar UV dengan panjang gelombang antara 245 nm dan 375 nm (Chemicals, 2003).

Setelah sampel diradiasi dengan sinar UV dengan masing-masing waktu radiasi, kemudian sampel diuji dengan menggunakan instrument XRD, SEM-EDX, FTIR, dan LCR meter. Gambar merupakan dokumentasi plat hasil fotopolimerisasi kolesteril akrilat.



Gambar 17. Plat komposit polimer kolesteril akrilat-ITO

Gambar 17 menunjukkan bahwa masing-masing plat polimer kolesteril akrilat-ITO memiliki ciri-ciri fisik yang sama yaitu bentuknya kaku dan berwarna kekuningan. Pada penelitian ini waktu fotopolimerisasi berbeda-beda, namun hasil plat sampel fotopolimerisasi kolesteril akrilat-ITO tersebut secara fisik terlihat sama, tetapi secara molekular memiliki sifat kimia yang berbeda-beda sehingga keempat sampel perlu dilakukan karakterisasi.

Struktur senyawa komposit polimer kolesteril akrilat-ITO hasil sintesis kemudian diamati menggunakan instrumen FTIR dan hasilnya ditunjukkan pada tabel 4 dan gambar 18. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan spektrum antara komposit polimer kolesteril akrilat-ITO, ITO, dan kolesteril akrilat. Pada komposit polimer kolesteril akrilat-ITO terdapat adanya pita vibrasi ikatan O-H pada bilangan gelombang $3431,36 \text{ cm}^{-1}$, jenis puncak melebar karena adanya ikatan hidrogen antara atom O dengan atom H dan terjadi pergeseran ke arah bilangan gelombang yang lebih besar. Hal ini menandakan bahwa ada ikatan antara monomer kolesteril akrilat dengan inisiator darocure. Kemudian terdapat pita pada bilangan gelombang $1649,14 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi C=C,

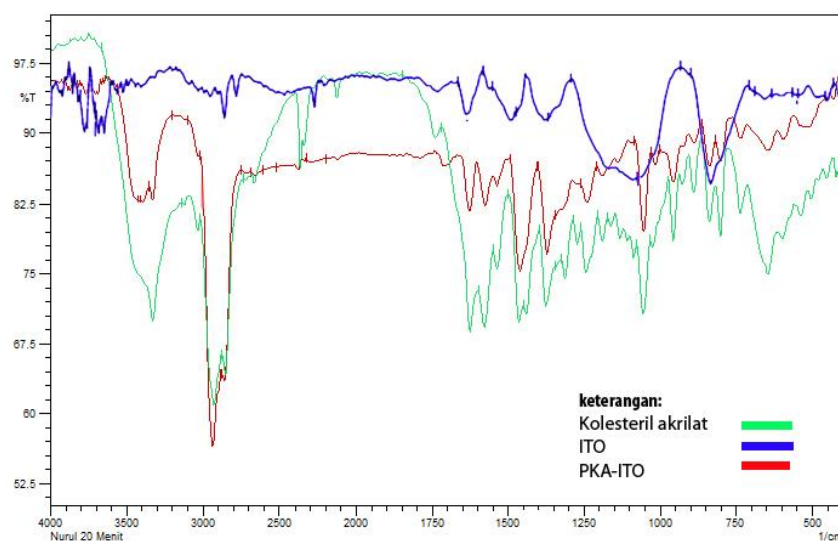
sedangkan pada komposit polimer kolesteril akrilat-ITO tidak menunjukkan puncak pada bilangan gelombang untuk vibrasi C=C. Hal ini menunjukkan bahwa ikatan C=C sudah mengalami polimerisasi. Proses *UV curing* untuk senyawa akrilat menunjukkan bahwa ikatan rangkap C=C akan diserang oleh radikal bebas fotoinisiator dan menjadi ikatan tunggal C-C (Wen dkk., 2013). Penyerapan sinar UV pada senyawa akrilat juga akan memutuskan ikatan rangkap C=C, karena sinar UV akan menyebabkan terbentuknya radikal bebas pada inisiator. Radikal bebas yang terbentuk akan berikatan dengan ikatan rangkap C=C sehingga ikatan rangkap pada C=C putus, dan dapat memodifikasi sifat mekanik dari polimer akrilat (Kuang *et al.*, 2005).

Tabel 4. Spektrum Inframerah Komposit Polimer Kolesteril Akrilat-ITO, Kolesteril Akrilat, dan ITO.

Ikatan	Bilangan gelombang (cm ⁻¹) Komposit PKA-ITO	Bilangan gelombang (cm ⁻¹) KA	Ikatan pada ITO	Bilangan gelombang (cm ⁻¹) ITO
			Sn-OH	3778,55
			In-OH	3711,04
O-H	3431,36	3415,93	O-H permukaan	3430,00
C-H (sp ²)	2935,66	2929,87		
C-H (sp ³)	2858,51	2860,01		
C=O	1730,00	1720,33		
C=C aromatik	1573,00	1577,77		
C=C		1649,14		
C-O	1055,06	1047,35	In-OH Gugus permukaan	1197,79; 975,98
Benzena tersubstitusi para	956,69	891,11		
Puncak khas ITO	450,00 644,22	s.d.	Puncak khas ITO	437,84; 487,99; 534,28; 619,15

Terdapat puncak yang tumpang tindih pada daerah bilangan gelombang 1055,06 cm⁻¹ antara vibrasi ikatan C-O dan ikatan dari In-OH serta pada bilangan gelombang 1730,00 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi dari C=O, pada bilangan gelombang ini mengalami pergeseran dari 1720,33 cm⁻¹ menjadi 1730,00 cm⁻¹.

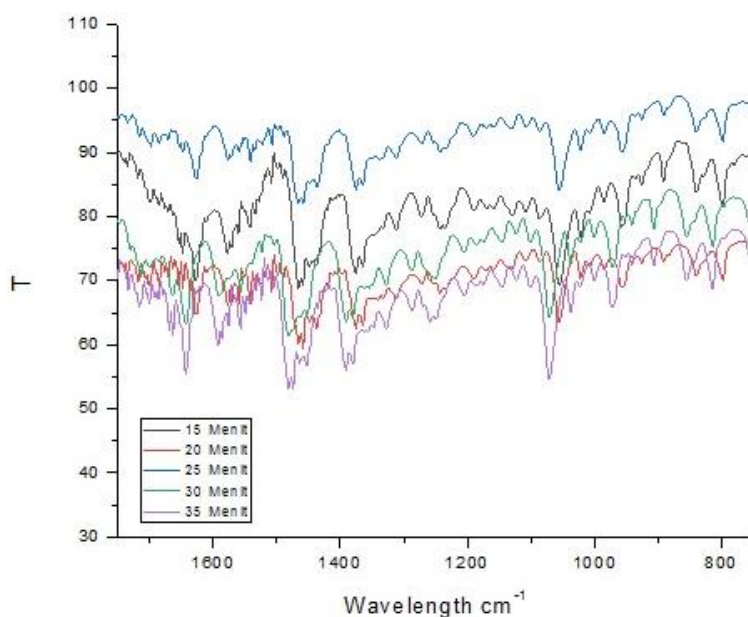
Hal ini dikarenakan adanya interaksi antara polimer kolesteril akrilat dengan permukaan ITO yang membentuk ikatan kovalen antara kolesteril akrilat dan permukaan ITO yang mengisi rongga polimer kolesteril akrilat. Pada komposit polimer kolesteril akrilat-ITO terdapat puncak khas ITO di bilangan gelombang 450 s.d. $644,22\text{ cm}^{-1}$. Puncak-puncak tersebut mengalami sedikit pergeseran dari ITO murni yang memiliki puncak khas pada bilangan gelombang $437,84$; $487,99$; $534,28$; $619,15\text{ cm}^{-1}$, hal ini menunjukkan bahwa komposit kolesteril akrilat-ITO mengandung ITO.



Gambar 18. Spektrum FTIR Komposit Polimer Kolesteril Akrilat-ITO, Kolesteril Akrilat, dan ITO.

Waktu fotopolimerisasi dibuat bervariasi dengan menit ke-15, 20, 25, 30, dan 35, masing-masing sampel dianalisis menggunakan instrument FTIR untuk mengetahui pengaruh waktu fotopolimerisasi terhadap komposit polimer kolesteril akrilat-ITO. Berdasarkan hasil karakterisasi didapatkan data seperti pada tabel 5 dan gambar 19. Gambar 19 merupakan spektrum FTIR dengan waktu fotopolimerisasi yang berbeda. Pada menit ke-15 terdapat beberapa puncak yaitu pada bilangan gelombang $1618,02\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi dari ikatan $C=C$ aromatis, bilangan gelombang $1051,34\text{ cm}^{-1}$ vibrasi dari $C-O$. Pada menit ke-20 terdapat puncak pada bilangan gelombang $1621,03\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi dari $C=C$ aromatis, puncak pada bilangan gelombang $1051,94\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi dari ikatan $C-O$. Pada menit ke-25 terdapat puncak pada bilangan

gelombang $1621,67 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi dari ikatan C=C aromatis, bilangan gelombang $1053,51 \text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi dari ikatan C-O. Pada menit ke-30 terdapat puncak pada bilangan gelombang $1624,69 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi dari ikatan C=C aromatis, pada bilangan gelombang $1054,71 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi dari ikatan C-O dan menit ke-35 juga terdapat vibrasi ikatan C=C aromatis pada bilangan gelombang $1624,69 \text{ cm}^{-1}$, pada bilangan gelombang $1057,11 \text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi ikatan C-O.



Gambar 19. Spektrum FTIR Komposit Polimer Kolesteril Akrilat-ITO Menit Ke- 15, 20, 25, 30, dan 35.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari karakteristik menggunakan FTIR dari menit ke-15 sampai menit ke-35 mengalami pergeseran kearah bilangan gelombang yang lebih besar, hal ini diduga semakin kuat ikatan yang terjadi antara dua atom tersebut, pada ikatan C-O semakin kuat ikatannya karena diduga semakin banyak atom H yang merupakan atom pendorong elektron yang terikat pada atom C dalam molekul komposit polimer kolesteril akrilat-ITO yang menyebabkan ikatan C-O semakin kuat. Hal ini sesuai dengan hukum isolator harmonik semakin kuat ikatan antar molekul maka semakin besar frekuensinya dan semakin besar pula bilangan gelombang. Hal ini juga diperkuat pada ikatan karbonil (C=O) yang semakin kuat dari menit ke-15 sampai menit ke-35 ditandai dengan semakin besarnya bilangan gelombang, pada menit ke-15 sampai menit

ke-35, pada menit ke-15 dan ke-20 terdapat pada bilangan gelombang 1701,21 cm^{-1} , pada menit ke-25 terdapat pada bilangan gelombang 1703,14 cm^{-1} , pada menit ke-30 terdapat pada bilangan gelombang 1705,07 cm^{-1} , dan pada menit ke-35 terdapat pada bilangan gelombang 1707,00 cm^{-1} . Hal ini menandakan bahwa semakin lama waktu fotopolimerisasi maka semakin panjang ikatan polimer yang terbentuk.

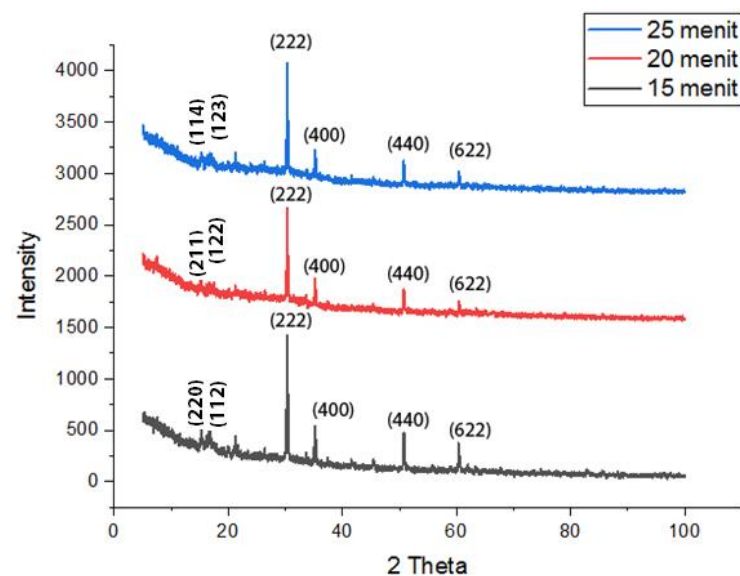
Hasil karakteristik menggunakan alat FTIR juga menunjukkan bahwa dari kelima sampel terdapat puncak khas ITO pada bilangan gelombang 550,00-600,00 cm^{-1} , hal ini menandakan bahwa dari kelima sampel itu terdapat ITO, selain itu juga terdapat puncak yang tumpang tindih antara puncak vibrasi C-O dengan puncak vibrasi In-OH, pada menit ke-15 terdapat pada bilangan gelombang 1051,34 cm^{-1} , menit ke-20 terdapat pada bilangan gelombang 1051,94 cm^{-1} , pada menit ke-25 terdapat pada bilangan gelombang 1053,51 cm^{-1} , pada menit ke-30 terdapat pada bilangan gelombang 1054,71 cm^{-1} , dan pada menit ke-35 terdapat pada bilangan gelombang 1057,11 cm^{-1} , hal ini dikarenakan adanya interaksi antara polimer kolesteril akrilat dengan permukaan ITO yang mengisi rongga-rongga pada polimer kolesteril akrilat membentuk ikatan kovalen.

Tabel 5. Puncak-puncak Serapan Spektrum IR Hasil Fotopolimerisasi Polimer Kolesteril Akrilat-ITO pada menit ke-15, 20, 25, 30, dan 35.

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang					
	Referensi i (cm^{-1})	15' (cm^{-1})	20' (cm^{-1})	25' (cm^{-1})	30' (cm^{-1})	35' (cm^{-1})
O-H	3402,43	3433,29	3431,36	3390,86	3396,64	3396,64
C-H (sp^2)	2922,16	2929,87	2935,66	2933,73	2939,52	2939,52
C-H (sp^3)	2850,79	2856,58	2858,51	2858,51	2858,00	2858,00
C=O (ester)	1737,86	1701,21	1701,21	1703,14	1705,07	1707,00
C=C	1462,04-	1431,63-	1434,70-	1434,22-	1438,07-	1460,63-
aromatik	1653,00	1618,02	1621,03	1621,67	1624,69	1624,69
C-O ester	1049,28	1051,34	1051,94	1053,51	1054,71	1057,11
Benzene tersubstitusi para	900,00	881,79	885,70	888,70	892,61	893,09
Puncak khas ITO	447,49; 513,07; 547,78; 596,00	550,00- 589,18	550,00- 589,27	550,00- 591,11	550,00- 591,69	550,00- 595,59

Komposit kolesteril akrilat-ITO selanjutnya dikarakterisasi menggunakan instrumen XRD. Pola difraksi XRD diperoleh dari berkas radiasi sinar X oleh bidang hkl pada suatu Kristal. Orientasi bidang hkl akan menghasilkan pola puncak yang terletak pada sudut difraksi tertentu. Perbedaan karakteristik setiap kristal ditunjukkan dengan munculnya puncak-puncak. Berdasarkan perbedaan pola difraksi ini, maka dapat mengidentifikasi jenis material yang terdapat pada zat padat (Santosa, 2008).

Gambar 20 merupakan pola difraksi XRD dari sampel komposit polimerisasi kolesteril akrilat-ITO. Grafik tersebut menyatakan hubungan antara waktu fotopolimerisasi terhadap fasa komposit polimer kolesteril akrilat-ITO. Berdasarkan grafik XRD pada gambar di atas, ketiga sampel diuji dengan waktu fotopolimerisasi berbeda memiliki fasa kristalin.



Gambar 20. Hasil Karakterisasi XRD

Ketiga sampel menunjukkan puncak difraksi XRD yang berbeda-beda. Hal ini karena perbedaan waktu fotopolimerisasi, sehingga akan ada perubahan bidang kristal komposit polimer kolesteril akrilat-ITO. Pola difraksi XRD pada menit ke-15 menunjukkan puncak 2θ pada 15,2734; 16,7266; 30,3077; 35,1758; 50,7179; dan 60,3467. Pola difraksi pada menit ke-20 menunjukkan puncak 2θ pada 15,2267; 16,7352; 30,3099; 35,1708; 50,7347; dan 60,3765. Sedangkan pola difraksi XRD pada menit ke-25 menunjukkan puncak 2θ pada 15,2771; 16,7256; 30,3090; 35,1900; 50,7293; dan 60,8933. Bidang kristalografi dinyatakan dengan

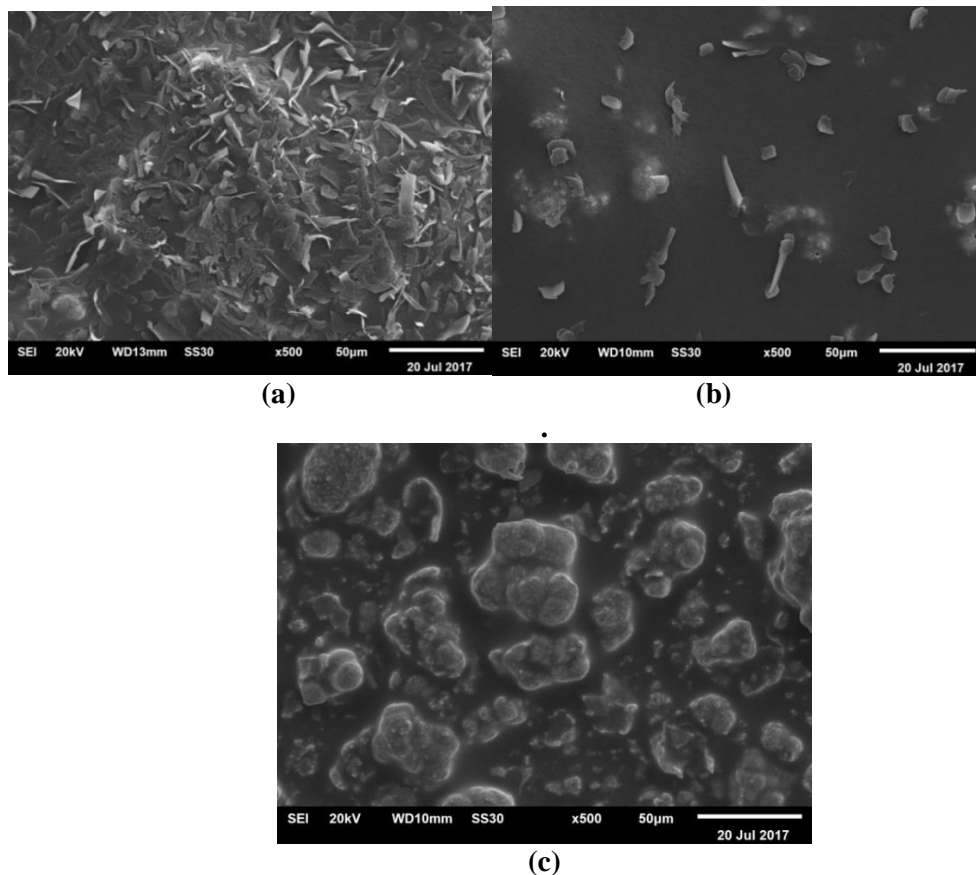
format (hkl) yang merupakan bilangan bulat. Bidang kristalografi untuk fasa nematik yaitu (100), (200), dan (300) (Kishikawa dkk., 2011). Sedangkan untuk fasa nematik kiral memberikan puncak 2θ pada daerah 15-20°. Berdasarkan bidang kristal yang dihasilkan dari ketiga sampel komposit polimer kolesteril akrilat-ITO memiliki fasa nematik kiral yaitu terdapat puncak 2θ pada daerah 15-20°. Bidang Kristal yang terbentuk puncak 2θ pada daerah 15-20° menit ke-15 yaitu (220) dan (112), menit ke-20 yaitu (211) dan (122), sedangkan menit ke-25 yaitu (114) dan (123). Terbentuknya struktur kristalin disebabkan untuk menjaga susunan setiap segmen tetap teratur pada rantai molekul (Calliester & David, 2010).

Menurut referensi puncak difraksi untuk karakteristik ITO yaitu pada $2\theta = 30,581^\circ$ (Khuram *et al.*, 2014). Berdasarkan puncak difraksi dari ketiga sampel komposit polimer kolesteril akrilat-ITO terdapat puncak 2θ pada daerah 30°. Pada menit ke-15 terdapat puncak 2θ pada daerah 30,3077°. Pada menit ke-20 terdapat sedikit pergeseran puncak 2θ ke arah kanan yaitu pada daerah 30,3099°. Sedangkan pada menit ke-25 terdapat puncak 2θ yaitu pada daerah 30,3090°. Ketiga puncak difraksi tersebut memiliki bidang hkl (222) yang merupakan struktur *bodycentered cubic* (bcc). Intensitas puncak dominan pada bidang (222) diantara bidang refleksi lainnya yang menunjukkan orientasi khusus pada film ITO (Senthilkumar *et al.*, 2010). Selain itu puncak khas ITO lainnya terdapat pada puncak 2θ daerah 35°, 50°, dan 60° dengan bidang hkl (400), (440), dan (622) (M. Thirumoorthi *et al.*, 2016). Berdasarkan gambar menunjukkan bahwa ketiga sampel terdapat puncak difraksi untuk ITO pada daerah tersebut. Pada menit ke-15 terdapat puncak 2θ pada daerah 35,1758; 50,7179; dan 60,3467. Pada menit ke-20 juga terdapat puncak 2θ pada daerah 35,1708; 50,7347; dan 60,3765. Sedangkan pada menit ke-25 terdapat puncak 2θ pada daerah 35,1900; 50,7293; dan 60,8933.

Berdasarkan karakterisasi dengan menggunakan XRD pada penelitian ini diduga sudah terbentuk komposit kolesteril akrilat-ITO yang ditandai dengan terdapatnya puncak difraksi yang terdapat pada polimer kolesteril akrilat dan ITO.

Karakterisasi menggunakan XRD kemudian diperkuat dengan karakterisasi menggunakan SEM. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan instrumen berupa mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk melihat benda dengan resolusi tinggi. Analisis SEM bertujuan untuk mengetahui mikrostruktur termasuk porositas dan bentuk retakan benda padat.

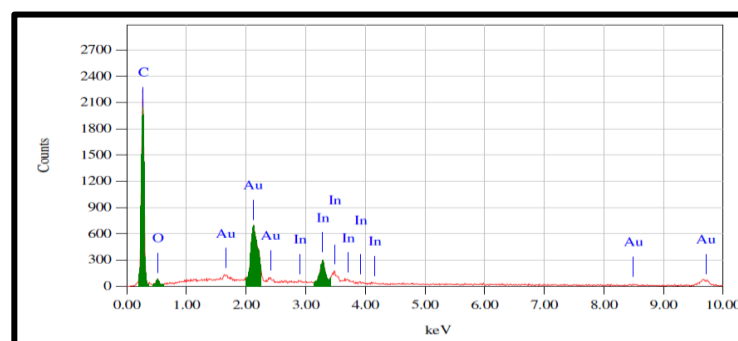
Gambar 21 pada hasil uji sampel menggunakan SEM memberikan informasi tentang morfologi permukaan sampel. Hasil uji SEM pada fotopolimerisasi 15 menit menunjukkan sampel berbentuk batang-batang kecil yang membentuk struktur morfologi *crosslinked*. Polimer jaringan disebut juga *crosslinked* karena beberapa rantai induk saling berikatan satu sama lain sehingga sifatnya menjadi kaku. *Crosslinked* dapat berinteraksi membentuk ikatan kovalen maupun non kovalen dan dapat meningkatkan berat molekul suatu polimer (Berg *et al.*, 2013).



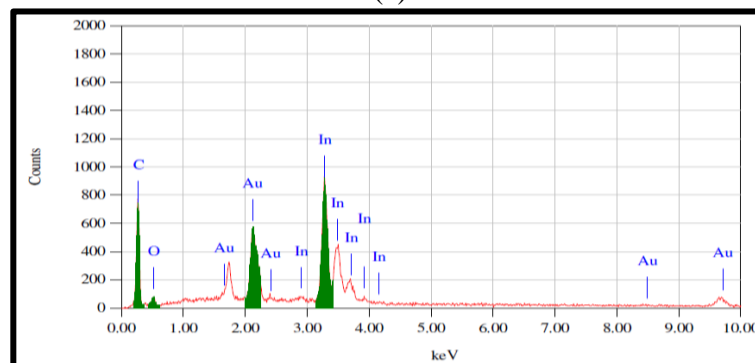
Gambar 21. Mikrograf SEM Permukaan Komposit Kolesteril Akrilat-ITO (a) menit ke-15, (b) menit ke-20, dan (c) menit ke-25.

Hasil uji SEM pada fotopolimerisasi 20 menit menunjukkan morfologi permukaan terdapat bentuk batang dan juga terdapat bulatan-bulatan. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat polimer kolesteril akrilat yang berbentuk batang dan terdapat ITO yang berbentuk bulat, ITO dapat mengisi rongga pada polimer kolesteril akrilat. Pada fotopolimerisasi 25 menit berbentuk seperti bulatan-bulatan yang bertumpuk. Hal ini menunjukkan bahwa sudah mulai membentuk satu fasa pada permukaan komposit kolesteril akrilat-ITO. Berdasarkan hasil karakterisasi pada SEM, material ITO dapat digunakan sebagai pengisi atau *filler* atau dopan pada suatu polimer, seperti pada penelitian ini yaitu polimer kolesteril akrilat.

Analisis SEM disertai dengan analisis EDX. *Energy dispersive X-ray spectroscopy* (EDX) adalah teknik analitik yang digunakan untuk analisis unsur sampel. Spektrum EDX dari komposit kolesteril akrilat-ITO ditunjukkan pada Spesifik menunjukkan bahwa kehadiran unsur In, O dan C serta Au yang merupakan *coating* pada sampel.



(a)



(b)

Gambar 22. Spektrum EDX komposit polimer kolesteril akrilat-ITO pada menit (a) ke-20 dan (b) ke-25.

Tabel 6. EDX Komposit Polimer Kolesteril Akrilat-ITO pada menit ke-20

Unsur	(keV)	Massa (%)	Atom (%)
C	0,277	82,19	95,84
O	0,525	3,31	2,90
In	3,285	4,50	0,55

Hasil EDX sampel komposit polimer kolesteril akrilat-ITO pada menit ke-20 berdasarkan tabel 6, terdeteksi adanya unsur karbon (C) 82,19%, oksigen (O) 3,31%, dan Indium (In) 4,50%. Hal ini menunjukkan bahwa sampel komposit kolesteril akrilat-ITO terdapat polimer kolesteril akrilat dan dopan ITO.

Tabel 7. EDX Komposit Polimer Kolesteril Akri-la-ITO pada menit ke-25

Unsur	(keV)	Massa (%)	Atom (%)
C	0,277	54,23	86,16
O	0,525	6,98	8,33
In	3,285	25,33	4,21

Sedangkan hasil EDX pada sampel komposit kolesteril akrilat-ITO pada menit ke-25 berdasarkan pada tabel 7, terdeteksi adanya unsur karbon (C) 54,23%, oksigen (O) 6,98%, dan indium (In) 25,33%. Kandungan terbanyak dari kedua sampel adalah unsur karbon. Hal ini diduga bahwa sampel telah menjadi komposit karena terdapat indium.

C. Uji Konduktivitas Campuran Polimer Kolesteril Akrilat-ITO

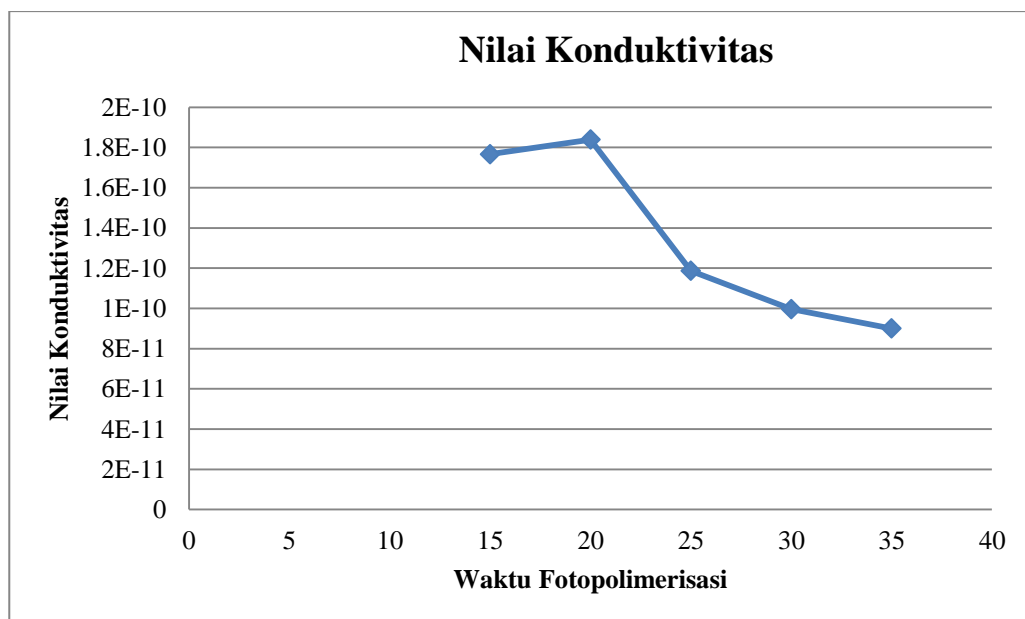
Campuran polimer kolesteril akrilat-ITO diuji sifat elektriknya menggunakan instrument LCR meter tipe Hioki 3532-50 LCR meter HiESTER. Tambahan dopan ITO diharapkan dapat menambahkan sifat konduktivitas dari kolesteril akrilat. Sampel diukur dengan cara menjepitkan pada dua *probe*. Masing-masing sampel diukur pada tegangan konstan yaitu sebesar 1 Volt dan frekuensi 1 kHz, dihasilkan data berupa impedansi, kapasitansi, muatan, konduktansi, dan resistansi.

Berdasarkan data pada tabel 8 menunjukkan hasil pengukuran nilai konduktivitas tertinggi pada menit ke-20 diduga bahwa adanya suatu kondisi sintesis yang optimum untuk menghasilkan komposit polimer kolesteril akrilat-ITO dengan konduktivitas tinggi. Selain itu komposit kolesteril akrilat-ITO

memiliki nilai konduktivitas lebih besar dibandingkan nilai konduktivitas pada polimer kolesteril akrilat yaitu sebesar $1,5612 \times 10^{-10}$, hal ini menunjukkan bahwa faktor doping mempengaruhi nilai konduktivitas, dengan adanya dopan nilai konduktivitas menjadi lebih besar.

Tabel 8. Data konstanta dielektrik, konduktansi, nilai konduktivitas dan nilai permivitas relatif

Waktu Fotopolimerisasi	Cs (F)	G (S)	σ (S/m)	E
15 menit	$1,9551 \times 10^{-12}$	$2,3558 \times 10^{-9}$	$1,7668 \times 10^{-10}$	2,6952
20 menit	$1,8709 \times 10^{-12}$	$2,4520 \times 10^{-9}$	$1,8390 \times 10^{-10}$	2,5791
25 menit	$1,6000 \times 10^{-12}$	$1,5828 \times 10^{-9}$	$1,1871 \times 10^{-10}$	2,2057
30 menit	$1,6212 \times 10^{-12}$	$1,3290 \times 10^{-9}$	$0,9967 \times 10^{-10}$	2,2349
35 menit	$1,6191 \times 10^{-12}$	$1,2008 \times 10^{-9}$	$0,9006 \times 10^{-10}$	2.232



Gambar 23. Grafik Uji Konduktivitas Komposit Polimer Kolesteril Akrilat-ITO.

Nilai konduktivitas mengalami kenaikan dari waktu fotopolimerisasi 15 menit hingga 20 menit sebesar $0,0722$ S/m, hal ini dikarenakan semakin lama radiasi sinar UV yang dipancarkan maka semakin besar energi foton yang diserap oleh elektron, sehingga elektron semakin cepat tereksitasi dan menghasilkan arus listrik lebih cepat, namun pada waktu fotopolimerisasi 20 menit hingga 35 menit mengalami penurunan nilai konduktivitas, hal ini dikarenakan dari menit ke-20

hingga ke-35 mengalami perpanjangan rantai polimer karena semakin lama waktu fotopolimerisasi, karena rantai polimer semakin panjang maka dopan yang mengisi rongga pada polimer semakin sedikit dan interaksi antara polimer kolesteril akrilat dengan ITO semakin berkurang karena ikatan antar monomer-monomer semakin kuat sehingga dapat menurunkan nilai konduktivitas.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Pengaruh waktu fotopolimerisasi terhadap karakteristik dan sifat konduktivitas komposit polimer kolesteril akrilat-ITO dilakukan menggunakan metode UV *curing*. Karakteristik komposit kolesteril akrilat-ITO menggunakan FTIR, XRD, SEM-EDS, dan LCR meter dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil FTIR dari kelima sampel menandakan adanya puncak serapan khas pada ITO, terdapat vibrasi ikatan In-OH dan C-O ester yang menandakan interaksi antara PKA dan ITO, dan semakin lama waktu fotopolimerisasi maka semakin panjang rantai polimer, hal ini ditunjukkan pada hasil spektrum FTIR yang mengalami pergeseran ke arah bilangan gelombang yang semakin besar.
2. Karakterisasi pada XRD menunjukkan pola difraksi sinar-X, waktu fotopolimerisasi pada menit ke-15, 20, dan 25 memiliki pita pada daerah $2\theta = 15-20^\circ$ yang menunjukkan bahwa ketiga sampel memiliki fasa nematik kiral, selain itu juga memiliki puncak pada daerah $2\theta = 35^\circ, 50^\circ,$ dan 60° yang merupakan bidang Kristal khas dari ITO. Hal ini diduga bahwa telah terbentuk komposit.
3. Hasil SEM juga menunjukkan adanya dopan ITO yang berbentuk bulat-bulat dan polimer kolesteril akrilat yang berbentuk batang dan sesuai dengan hasil dari EDS yang menunjukkan adanya atom C, O, dan In.
4. Nilai konduktivitas komposit kolesteril akrilat-ITO semakin turun seiring lamanya waktu fotopolimerisasi, namun pada menit ke-20 memiliki nilai konduktivitas tinggi diduga bahwa adanya suatu kondisi sintesis yang optimum untuk menghasilkan komposit polimer kolesteril akrilat-ITO dengan konduktivitas tinggi.

B. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya agar penelitian ini dapat dikembangkan menjadi lebih baik, diantaranya:

1. Berdasarkan data XRD, perlu dilakukan pengukuran standar untuk dopan ITO.
2. Perlu dilakukan pengukuran dengan instrument tambahan untuk mengamati komposit polimer kolesteril akrilat-ITO seperti DSC-TGA dan GPC.
3. Dilakukan optimasi variasi massa monomer kemudian dibuat kurva konversi untuk mengetahui laju kinetiknya.
4. Perlu dilakukan kajian sifat optis terhadap komposit kolesteril akrilat-ITO
5. Perlu dilakukan kajian sifat konduktivitas komposit polimer kolesteril akrilat-ITO dengan variasi suhu untuk mengetahui suhu yang optimum

DAFTAR PUSTAKA

- Afrizal, Hikam, M., Soegiyono, B., dan Riswoko, A. 2012. XRD Pattern of Liquid Crystal Monomer Acrylate That Conjugated with Cholesterol and p-Hydroxyphenyl-2-Methyl Butanoic. *J. Chem. Chem. Eng.*, 1051-1055.
- Ali, K., Khan, S. A., dan Jafri, M. Z. 2014. Structural and optical properties of ITO/TiO₂ anti-reflective films for solar cell applications. *Nanoscale Research Letters*.
- Anonim. 2010. *Introduction to Liquid Crystal*, (online). Cambridge: Department of Engineering, University of Cambridge (<http://www-g.eng.cam.ac.uk/CMMPE/lcintro2.html>, diakses pada 12 Oktober 2016 pada pukul 23.05 WIB)
- Andrienko, D. 2006. Introduction to liquid crystals. *International Max Planck Research School Modelling Of Soft Matter*.
- Berg, A., Wieland, M., Naumann, J., dan Jaekel, O. 2013. High Resolution Dosimetry in Monoenergetic Proton Beam Therapy on A Normoxic Polymer Gel: The Importance of High Spatial Resolution for Reduced Bragg-Peak-Quenching. *Journal of Physics: Conference Series* 444. 0012054.
- Callister, W. D., dan David, G. R. 2010. *Materials Science and Engineering an Introduction 8th Edition*. USA: John Wiley & Sons.
- Chemicals, C. S. 2002. *UV Curing Technical Principle and Mechanism*. Switzerland: Ciba Specialty Chemicals Inc.
- Ciba Specialty Chemicals. 2003. *Photoinisiator for UV Curing*. Switzerland: Ciba Specialty Chemicals Inc.
- David, G., Ozer, F., Simionescu, B., Zareie, H., dan Piskin, E. 2002. Microemulsion Photopolimerization of Methacrylate Stabilized with Sodium Dedocyl Sulfate and poly (N-acetyethylenimine) macromonomers. *European Polymer Journal*, 38, 73-78.
- Decker, C. 2006. *UV-Radiation Curing of Adhesives*. Handbook of Adhesives and Sealants. 2, 303-353.
- Fessenden, Fessenden. 1982. *Kimia Organik Jilid 1 Edisi Ketiga*. Jakarta: Erlangga

- Ganicz, T., dan Stańczyk, W. 2009. Side-chain Liquid Crystal Polymers (SCLCP): Methods and Materials. *An Overview. Materials*, 95-128.
- Handayani, P. A. 2010. *Polimerisasi Akrilamid Dengan Metode Mixed-Solvent Precipitation Dalam Pelarut Etanol-Air*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Husniati. 2008. *Sintesis Senyawa Analog UK-3A: 3-Hidroksi-N-Oktipikolinamida, 2-Hidroksi-N-Fenil-Benzamida, 3-Hidroksi-N-Fenilpikolinamida, dan 2-Hidroksi-N-Oktilbenzamida dan Uji Bioaktivitas Secara In Vitro Terhadap Sel Kanker Murine Leukimia P-388*. Depok: Universitas Indonesia.
- Jain, K., Klier, J., dan Scranton, A. B. 2005. Photopolymerization of Butyl Acrylate-in-Water Microemulsions: Polymer Molecular Weight and End-Groups. *Polymer*, 46, 11273-11278.
- Kim, E. H., Woo, J. Y., dan Kim, B. K. 2008. Holographic-Polymer-Dispersed Liquid Crystals Doped with Poly(vinyl carbazole)-Fullerene. *Journal of Applied Polymer Science*, 109(5), 3108-3113.
- Kim, Soyon., Lee, Seung-Woo., Lim, Dong-Hyuk., Park, Ji-Won., Park, Cho-Hee., dan Kim, Hyun-Joong. 2013. Fabrication of optically clear acrylic pressure-sensitive adhesive by photopolymerization: UV-curing behavior, adhesion performance, and optical properties. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 27, 2177-2190.
- Kishikawa, K., Aikyo, S., Akiyama, S., Inoue, T., Takahashi, M., Yagai, S., Aonuma, H., dan Kohmoto, S. 2011. Realization of A Lateral Directional Order in Nematic and Smectic A Phases of Rodlike Molecules by Using Perfluoroarene-Arene Interactions. *Soft Matter*, Vol. 7, 5176.
- Kuang, S., Yee, dan Y., Shaari, S. 2005. Optimized Curing Process for Perfluorinated Acrylic Polymer Optical Waveguide. *Science and Technology of Advance Materials*, 6, 383-387.
- Lin, G.-J., Chen, T.-J., Lin, Y.-T., Wu, J.-J., dan Yang, Y.-J. 2014. Effects of chiral dopant on electro-optical properties of nematic liquid crystal cells under in-plane switching and non-uniform vertical electric fields. *Optical Materials Express*, 4(12), 2468-2477.
- Mihara, T., Uedaira, T., dan Koide, N. 2002. Fixation of a cholesteric helical structure by the photopolymerization of a cholesteryl derived monomer. *Liquid Crystals*, 29(6), 855-861.

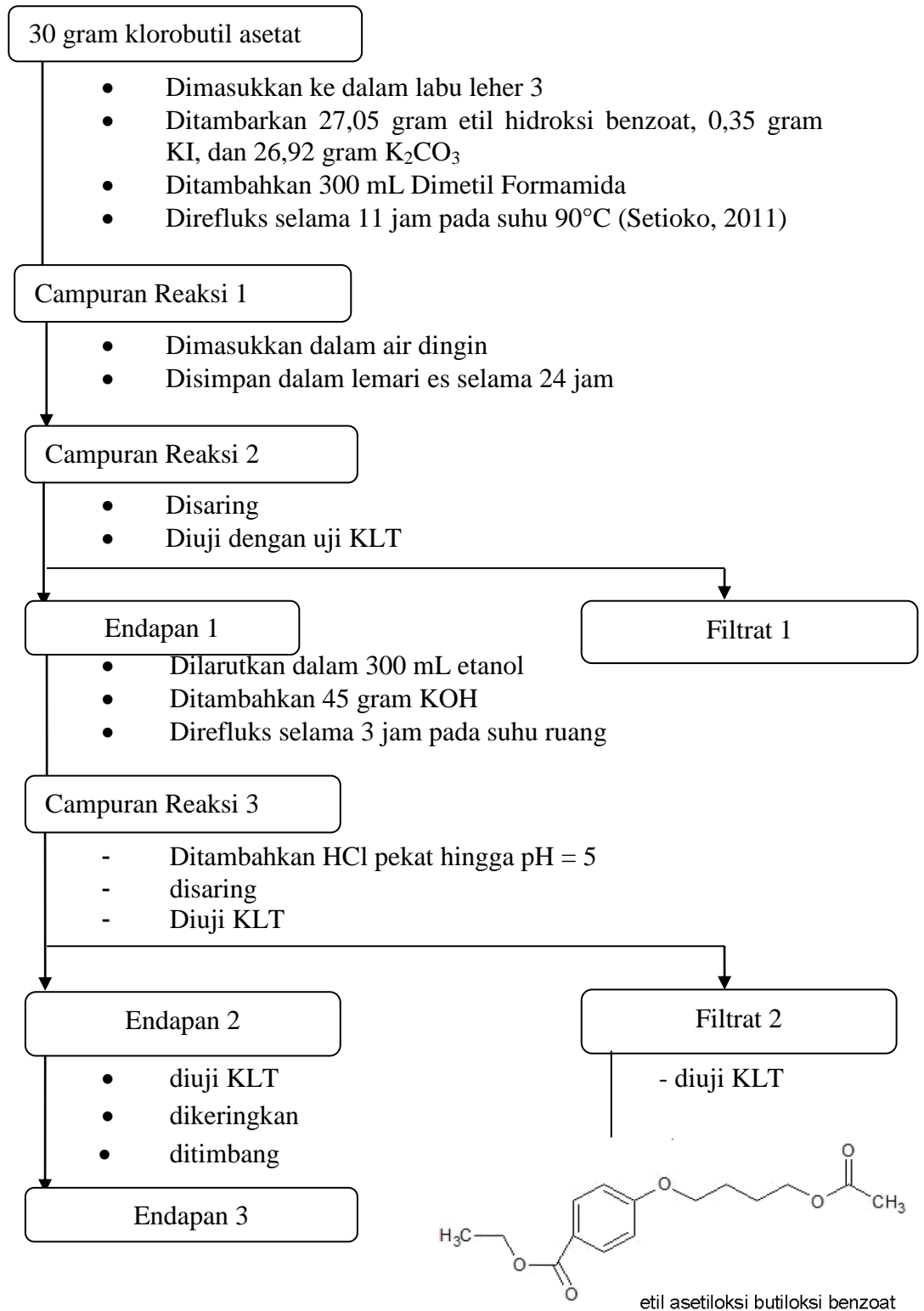
- Nurdelima, A. 2013. *Polimerisasi Senyawa Kristal Cair Menggunakan Sinar UV dari Monomer (S)-(+)-4-(2-Metil-1-Butiloksi 4-[1-(Propenoiloksi) Butiloksi] Benzoat dengan Berbagai Variasi Waktu Polimerisasi*. (Skripsi) Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.
- Prasada, A.B. 2012. *Fisika Material I*. Universitas Indonesia: Ilmu Fisika.
- Petkoska, A. T. 2008. *Polymer Cholesteric Liquid Crystal Flakes – Their Electro Optic-Behavior for Potential E-Paper Application*. Germany : Verlag Dr. Muller
- Petkoska, A. T. 2014. The Role of Conductive Dopants In Polymer Cholesteric Liquid Crystal. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 33. No. 2, 287-297.
- Putra, E.G., Fajar, A., Rusli, A., dan Ariwahjoedi, B. 2004. *Pembentukan Fasa Kolesterik dan Smektik pada Kristal Cair MBBA dengan Penambahan Kristal Cair (S)-MHPOBC*. BATAN: Puslitbang Iptek Bahan
- Riswoko, A. 2010. *Rekayasa Material Berbasis Struktur Nano Polimer Elektronik untuk Komponen Perangkat Deteksi di Area Rawan Radiasi*. Pusat Teknologi Material-TIEM.
- Santosa, A. 2008. *Analisa Struktur dan Komposisi Material Lapisan Tungsten Carbide/Cobalt (Wc/Co) yang Dipersiapkan dengan Metode HVOF*. Universitas Indonesia: Fisika Murni dan Terapan
- Tehfe, M. A., Louradour, F., Lalevée, J., dan Fouassier, J.-P. 2013. Photopolymerization Reactions: On the Way to a Green and Sustainable Chemistry. *Appl. Sci*, 490-514.
- Thirumoorthi, M., dan Prakash, J. T. 2016. Structure, optical and electrical properties of indium tin oxide ultrathin films prepared by jet nebulizer spray pyrolysis technique. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 124-132.
- Umeir, A. F., Frizal., dan Asep Riswoko. 2013. Uji Spektrofotometer UV-VIS pada Produk Blending Kristal Cair Kolesteril Akrilat dengan Kristal Cair Tipe Ester Benzoat. *Jurnal Riset Sains dan Kimia Terapan*, 3. No. 1.
- Warsono, Abraha, K., Yusuf, Y., dan Nurwantoro., P. 2009. Aplikasi Teori Landau-de Gennes Pada Transisi Fase Nematikisotropik Liquid crystal. <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/penelitian/warsono-spdmsi/aplikasi-teori-landaude-gennestransisifasenilc.pdf> diakses tanggal 21 November 2016, pukul 21.00 WIB

- Yu, J., Lim, E., Lee, S., Kim, T., dan Lee, K. K. 2012. Poly(3,4-Ethylenedioxythiophene)-Indium Tin Oxide Nanocomposites: Improved Electrochromic Response and Efficiency. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 564(1), 169-177.
- Zhou, Y., Briand, V. A., Sharm, N., S.-k. A., dan Kasi, R. M. 2009. Polymers Comprising Cholesterol: Synthesis, Self-Assembly, and Applications. *Materials*, 2(2).

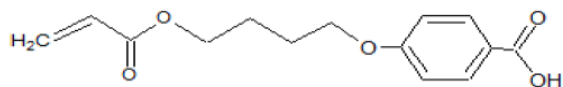
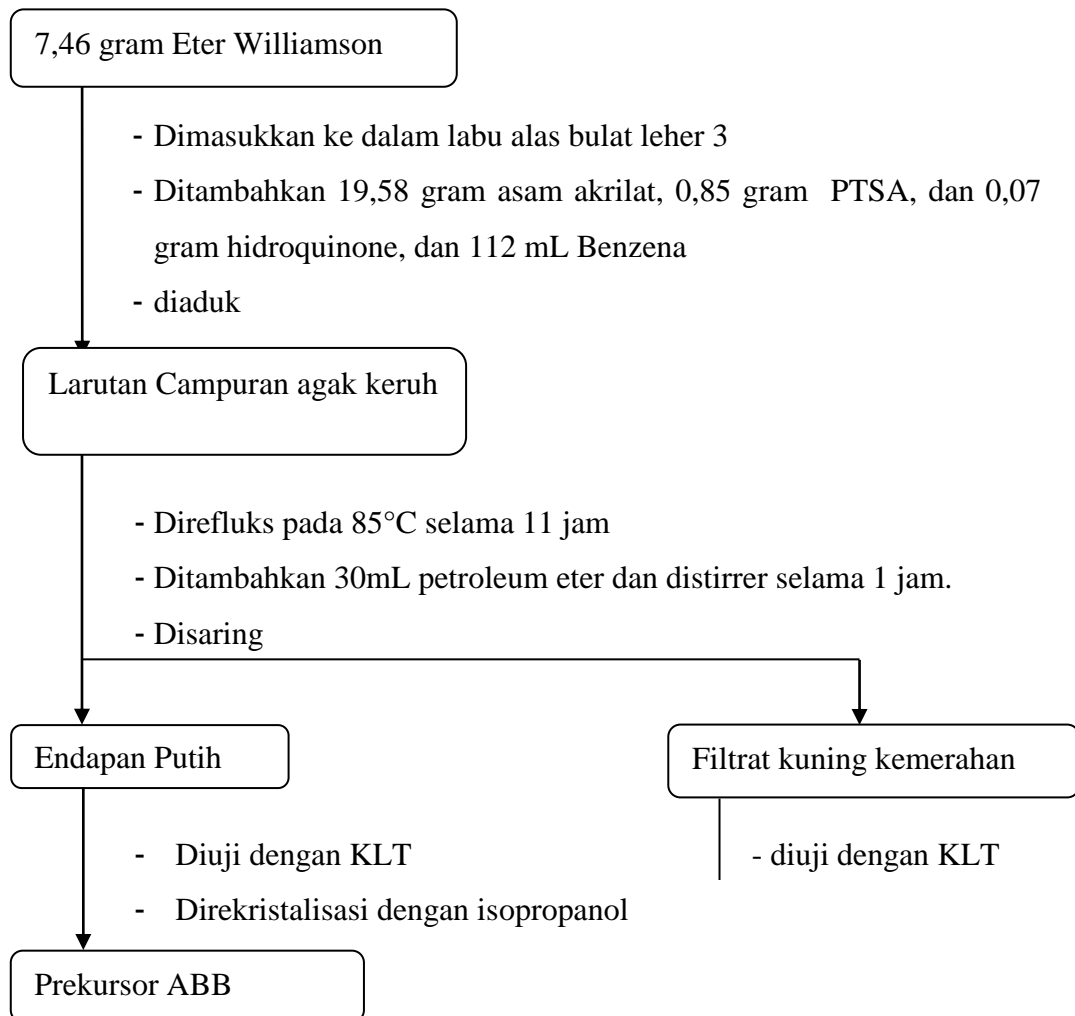
LAMPIRAN

Lampiran 1. Pembuatan kolesteril akrilat

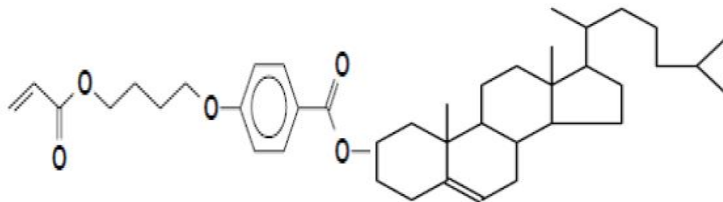
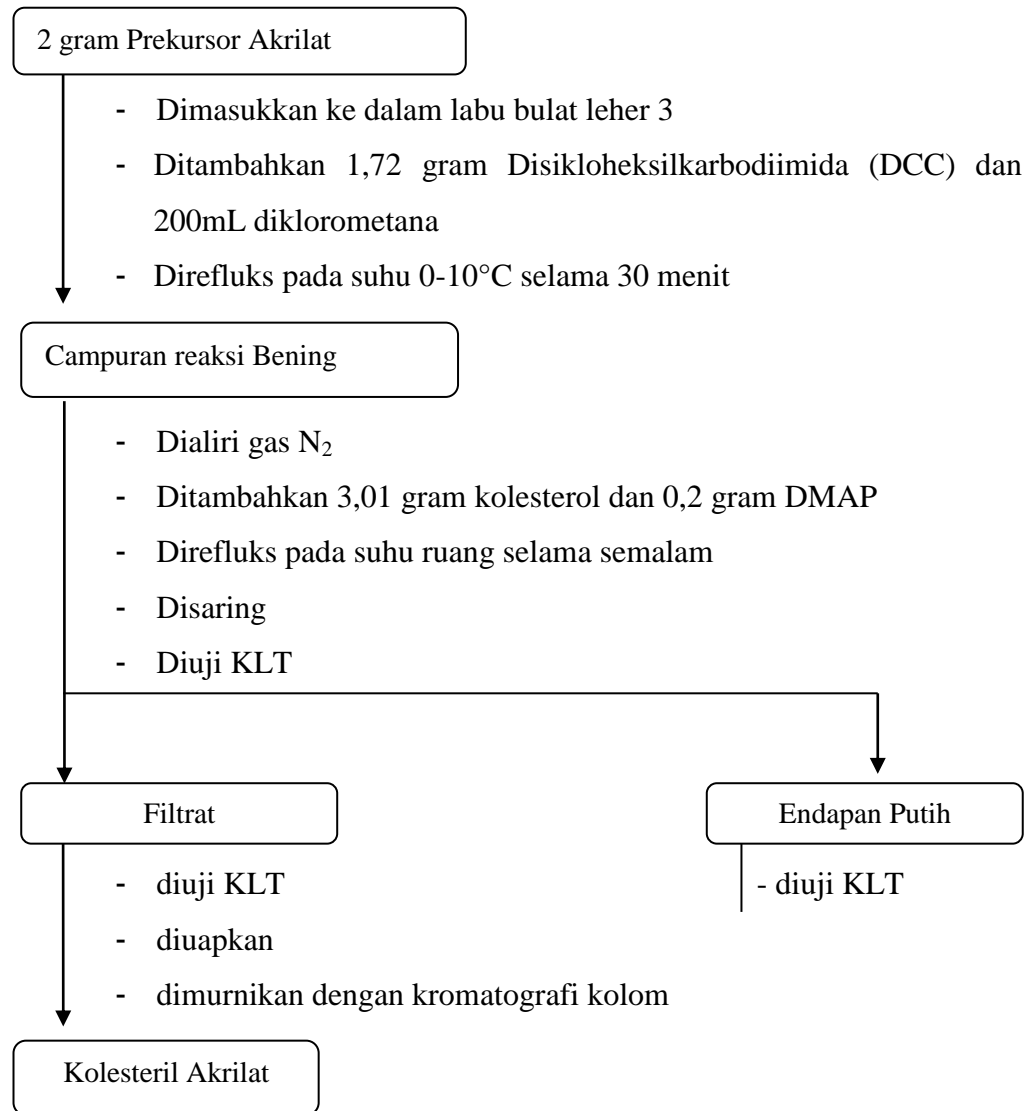
• Bagan sintesis Eter williamson (etil asetiloksi butiloksi benzoat)

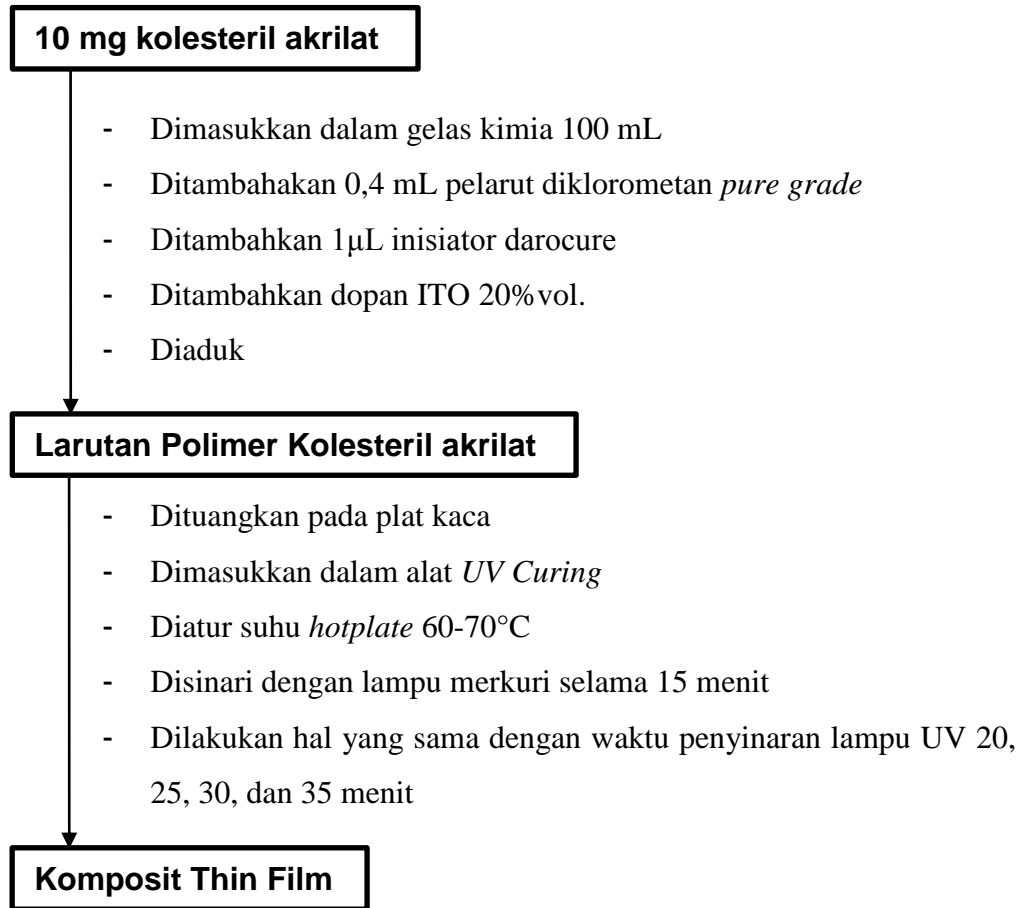


- **Pembuatan Prekursor Akrioloiloksi Butiloksi Benzoat (ABB)**

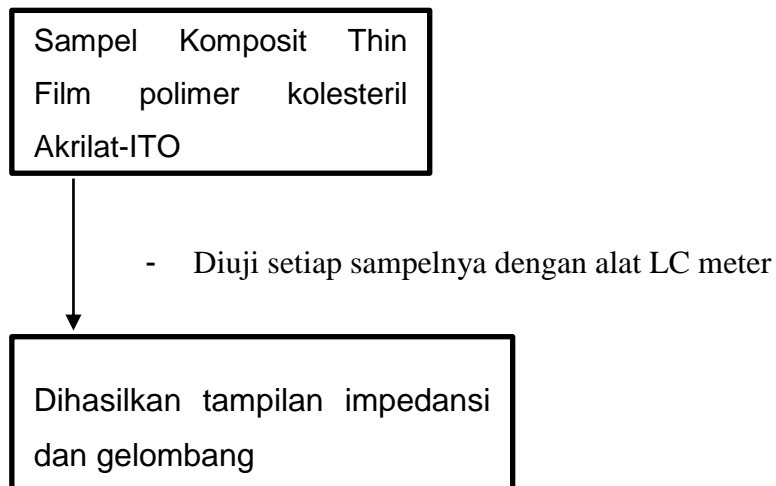


• **Bagan Sintesis Kolesteril Akrilat:**

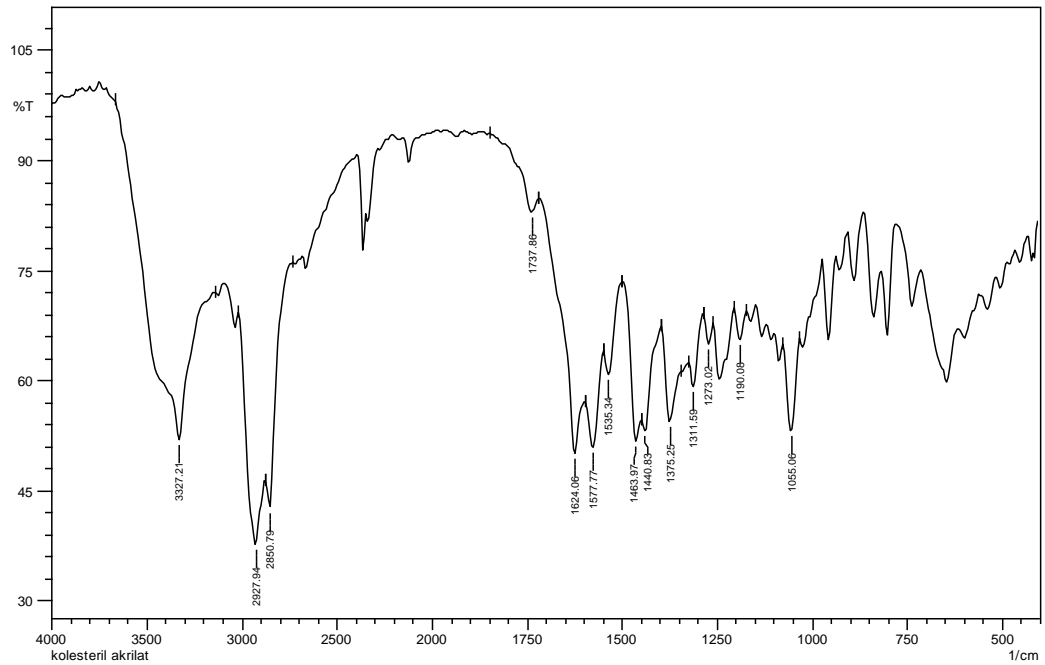


Lampiran 2. Pembuatan komposit thin film dengan metode *casting solution*

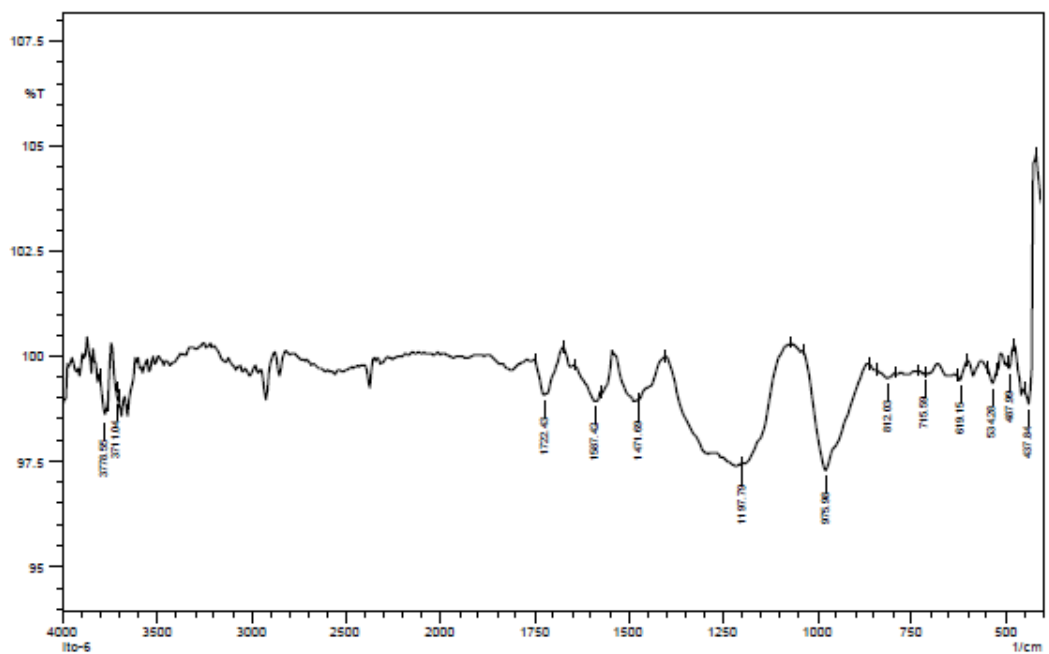
Lampiran 3. Karakterisasi Komposit thin Film polimer kolesteril akrilat-ITO

Lampiran 4. Uji Konduktivitas Komposit thin Film polimer kolesteril akrilat-ITO

Lampiran 5. Spektrum FTIR Monomer Kolesterol Akrilat

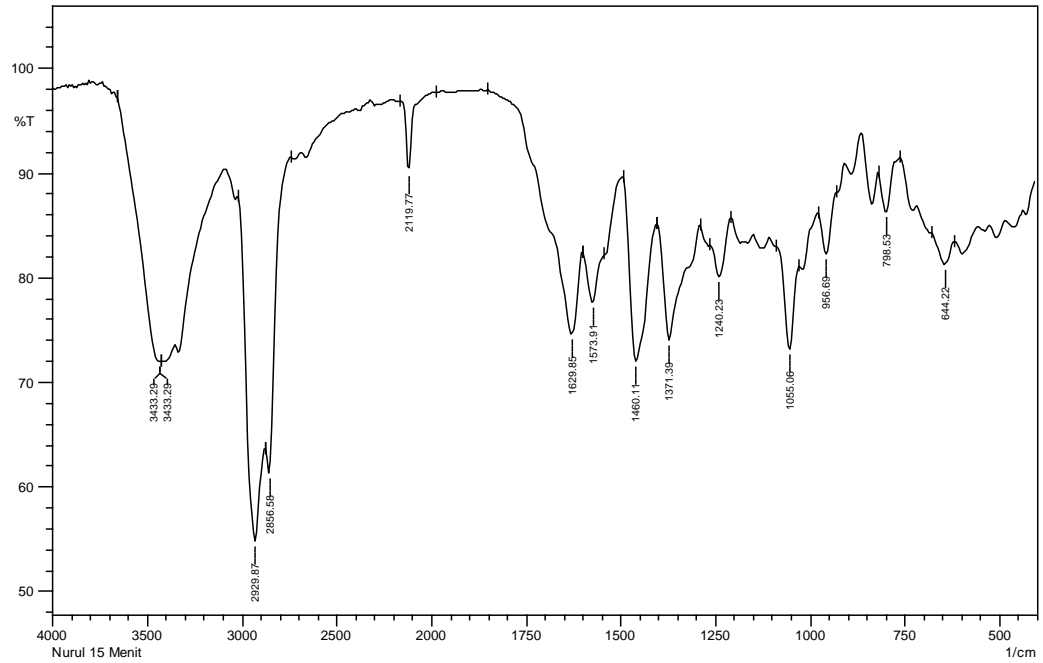


Lampiran 6. Spektrum FTIR Dopan ITO

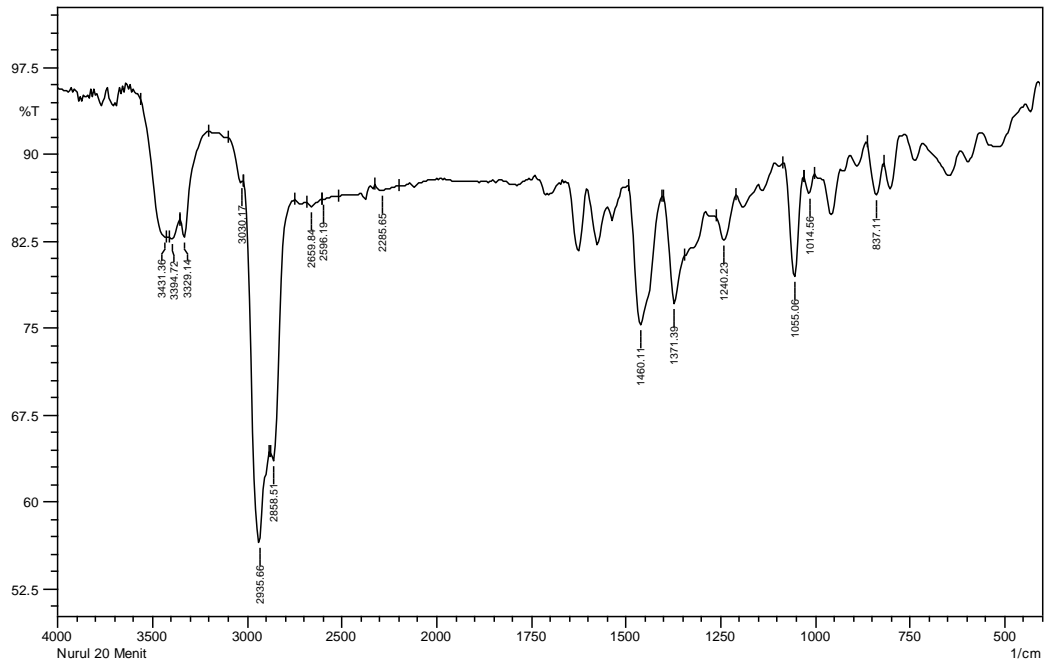


Lampiran 7. Spektrum FTIR Komposit Polimer Kolesteri Akrilat-ITO

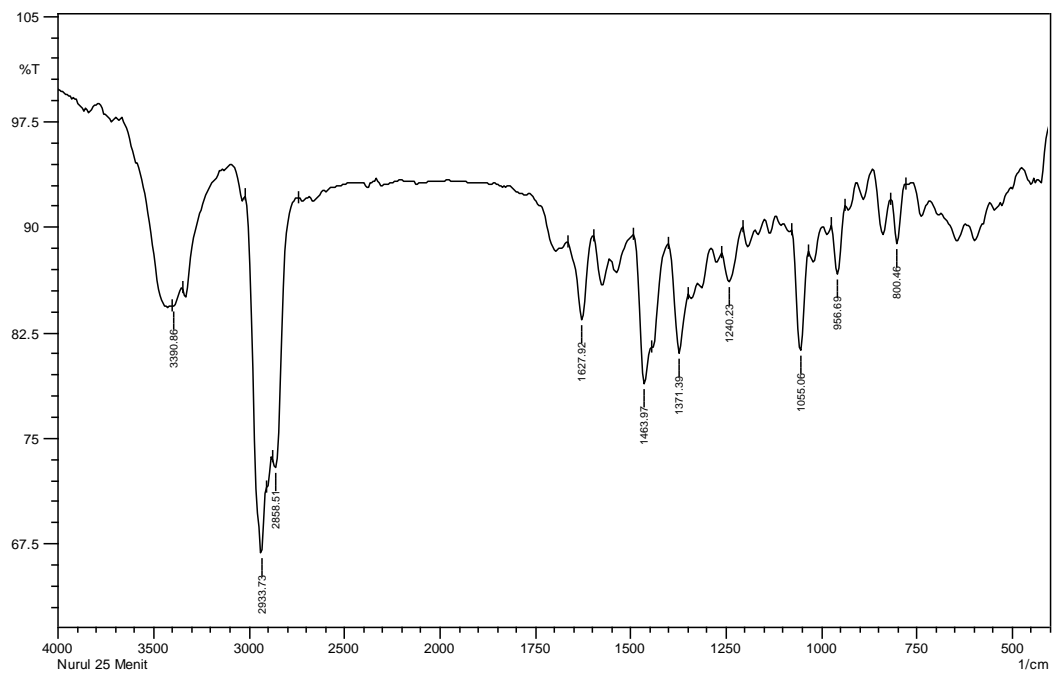
1. 15 menit



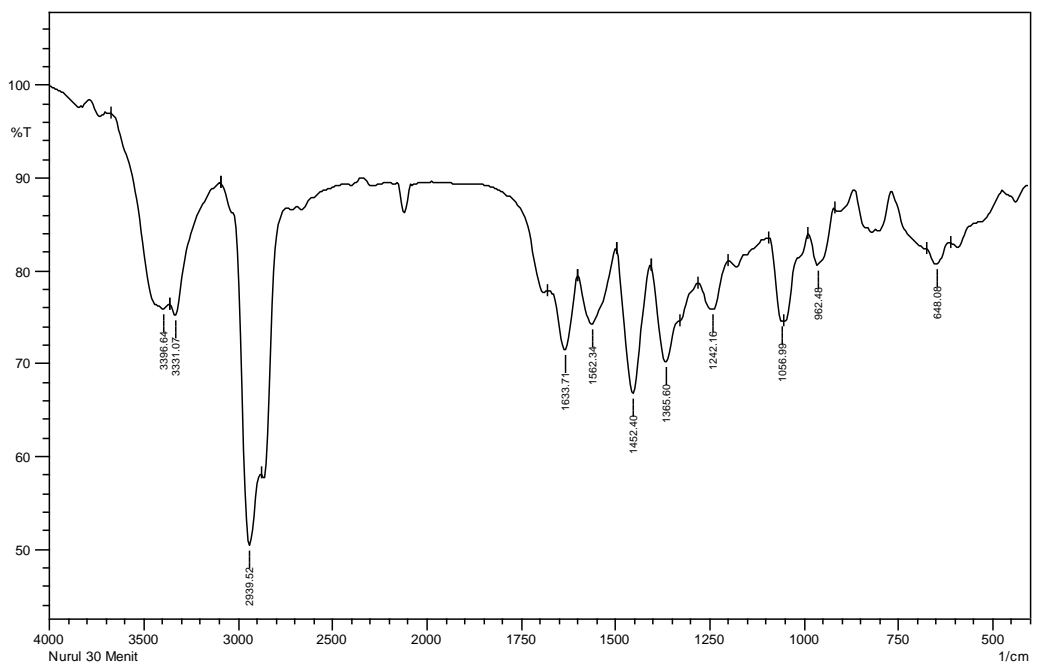
2. 20 menit



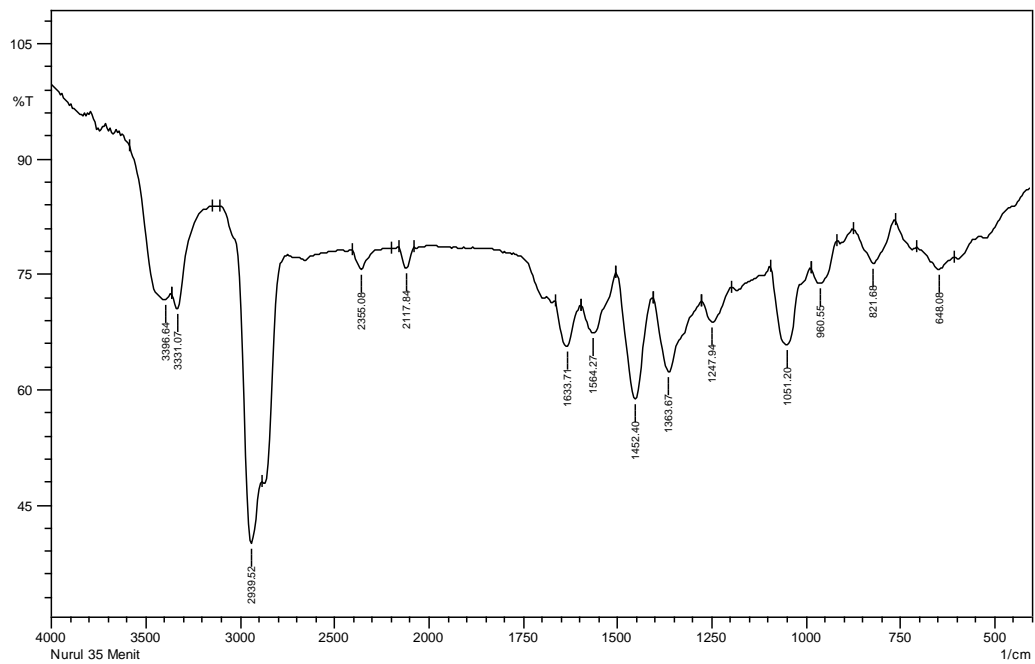
3. 25 menit



4. 30 menit



5. 35 menit



Lampiran 8. Data LCR meter

Samples 15 menit
 Date 2017/05/26
 Time 00:09:46.25
 X_Dimension Time
 X0 0.0000000000000000E+0
 Delta_X 1.000000
 End_of_Header

X_Value	Comment
0.000000	1.618900E+8
1.000000	6.177100E-9
2.000000	24.990000
3.000000	1,955100E-12
4.000000	4.153300E-13
5.000000	2.145440
6.000000	10885.000000
7.000000	60988.000000
8.000000	0.470000
9.000000	1.467300E+8
10.000000	2,355800E-12
11.000000	1.786100E+8
12.000000	6.839300E+7
13.000000	2.609600E

Samples 20 menit
 Date 2017/05/26
 Time 00:09:46.25
 X_Dimension Time
 X0 0.0000000000000000E+0
 Delta_X 1.000000
 End_of_Header

X_Value	Comment
0.000000	1.618900E+8
1.000000	6.177100E-9
2.000000	24.990000
3.000000	1,870900E-12
4.000000	4.153300E-13
5.000000	2.145440
6.000000	10885.000000
7.000000	60988.000000
8.000000	0.470000
9.000000	1.467300E+8
10.000000	2,452000E-12

11.000000 1.786100E+8
 12.000000 6.839300E+7
 13.000000 2.609600E

Samples 25 menit
 Date 2017/05/26
 Time 00:09:46.25
 X_Dimension Time
 X0 0.0000000000000000E+0
 Delta_X 1.000000
 End_of_Header

X_Value	Comment
0.000000	1.618900E+8
1.000000	6.177100E-9
2.000000	24.990000
3.000000	1,600000E-12
4.000000	4.153300E-13
5.000000	2.145440
6.000000	10885.000000
7.000000	60988.000000
8.000000	0.470000
9.000000	1.467300E+8
10.000000	1,582800E-12
11.000000	1.786100E+8
12.000000	6.839300E+7
13.000000	2.609600E

Samples 30 menit
 Date 2017/05/26
 Time 00:09:46.25
 X_Dimension Time
 X0 0.0000000000000000E+0
 Delta_X 1.000000
 End_of_Header

X_Value	Comment
0.000000	1.618900E+8
1.000000	6.177100E-9
2.000000	24.990000
3.000000	1,621200E-12
4.000000	4.153300E-13
5.000000	2.145440
6.000000	10885.000000
7.000000	60988.000000
8.000000	0.470000

9.000000	1.467300E+8
10.000000	1,329000E-12
11.000000	1.786100E+8
12.000000	6.839300E+7
13.000000	2.609600E

Samples 35 menit
 Date 2017/05/26
 Time 00:09:46.25
 X_Dimension Time
 X0 0.0000000000000000E+0
 Delta_X 1.000000
 End_of_Header

X_Value	Comment
0.000000	1.618900E+8
1.000000	6.177100E-9
2.000000	24.990000
3.000000	1,619100E-12
4.000000	4.153300E-13
5.000000	2.145440
6.000000	10885.000000
7.000000	60988.000000
8.000000	0.470000
9.000000	1.467300E+8
10.000000	1,200800E-12
11.000000	1.786100E+8
12.000000	6.839300E+7
13.000000	2.609600E

Lampiran 9. Perhitungan Nilai Konduktivitas (σ) dan Permittivitas relatif (ϵ)

a. Perhitungan Konduktivitas

Panjang sampel	: $2 \times 10^{-2} \text{ m}$
Lebar sampel	: $2 \times 10^{-2} \text{ m}$
Luas sampel	: $4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Tebal sampel	: $3 \times 10^{-5} \text{ m}$

$$\sigma = G \frac{l}{A}$$

1. 15 menit

$$G = 2,3558 \times 10^{-9} \text{ S}$$

$$\sigma = 2,3558 \times 10^{-9} \text{ S} \cdot \frac{3 \times 10^{-5} \text{ m}}{4 \times 10^{-4} \text{ m}}$$

$$\sigma = 1,76685 \times 10^{-10}$$

2. 20 menit

$$G = 2,4520 \times 10^{-9} \text{ S}$$

$$\sigma = 2,4520 \times 10^{-9} \text{ S} \cdot \frac{3 \times 10^{-5} \text{ m}}{4 \times 10^{-4} \text{ m}}$$

$$\sigma = 1,8390 \times 10^{-10}$$

3. 25 menit

$$G = 1,5828 \times 10^{-9} \text{ S}$$

$$\sigma = 1,5828 \times 10^{-9} \text{ S} \cdot \frac{3 \times 10^{-5} \text{ m}}{4 \times 10^{-4} \text{ m}}$$

$$\sigma = 1,1871 \times 10^{-10}$$

4. 30 menit

$$G = 1,3290 \times 10^{-9} \text{ S}$$

$$\sigma = 1,3290 \times 10^{-9} \text{ S} \cdot \frac{3 \times 10^{-5} \text{ m}}{4 \times 10^{-4} \text{ m}}$$

$$\sigma = 0,99675 \times 10^{-10}$$

5. 35 menit

$$G = 1,2008 \times 10^{-9} \text{ S}$$

$$\sigma = 1,2008 \times 10^{-9} \text{ S} \cdot \frac{3 \times 10^{-5} \text{ m}}{4 \times 10^{-4} \text{ m}}$$

$$\sigma = 0,9006 \times 10^{-10}$$

b. Permittivitas Relatif

Kapasitas rangkaian tanpa sampel (C_0) = $0,7254 \times 10^{-12} F$

$$\varepsilon = \frac{C \text{ dengan sampel } (C)}{C \text{ tanpa sampel } (C_0)}$$

1. 15 menit

$$C = 1,9551 \times 10^{-12} F$$

$$\varepsilon = \frac{1,9551 \times 10^{-12} F}{0,7254 \times 10^{-12} F}$$

$$\varepsilon = 2,6952$$

2. 20 menit

$$C = 1,8709 \times 10^{-12} F$$

$$\varepsilon = \frac{1,8709 \times 10^{-12} F}{0,7254 \times 10^{-12} F}$$

$$\varepsilon = 2,5791$$

3. 25 menit

$$C = 1,6000 \times 10^{-12} F$$

$$\varepsilon = \frac{1,6000 \times 10^{-12} F}{0,7254 \times 10^{-12} F}$$

$$\varepsilon = 2,2057$$

4. 30 menit

$$C = 1,6212 \times 10^{-12} F$$

$$\varepsilon = \frac{1,6212 \times 10^{-12} F}{0,7254 \times 10^{-12} F}$$

$$\varepsilon = 2,2349$$

5. 35 menit

$$C = 1,6191 \times 10^{-12} F$$

$$\varepsilon = \frac{1,6191 \times 10^{-12} F}{0,7254 \times 10^{-12} F}$$

$$\varepsilon = 2,232$$

Lampiran 10. Dokumentasi penelitian

Sintesis Kolesteril Akrilat



Perendaman



Pengeringan hasil Kolesteril Akrilat



Hasil Kolesteril Akrilat



Uji Konduktivitas

RIWAYAT HIDUP



NURUL HIDAYATI. Penulis lahir di Jakarta pada tanggal 20 Juli 1995. Anak pertama dari tiga bersaudara. Lahir dari pasangan Bapak Suhadi dan Ibu Ani Indriyati, serta mempunyai dua orang adik bernama Dwi Ida Lestari dan Irsyad Ramadhani.

Penulis menyelesaikan pendidikan formal di MI Al Wathoniah 08 pada tahun 2001-2007, MTs Al Wathoniah 08 pada tahun 2007-2010, SMAN 107 Jakarta pada tahun 2010-2013, dan diterima di Kimia FMIPA Universitas Negeri Jakarta pada tahun 2013 melalui jalur SNMPTN tulis. Studi S1 diselesaikan pada tahun 2017.

Penulis pernah melakukan kunjungan ke beberapa industri, seperti PT.Krakatau Steel, BATAN, PT. Coca Cola Amatil Indonesia (CCAI), PT. Bio Farma, PT. Nippon Indosari Corpindo, dan PT. Semen Indonesia. Penulis juga pernah melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Cirende, Purwakarta. Selain itu penulis pernah menjadi asisten dosen Praktikum Kimia Dasar Umum, Praktikum Kimia Dasar II, dan Praktikum Kimia Metabolisme Biomelekul.

Penulis aktif dalam organisasi selama di kampus. Penulis pernah menjabat sebagai staf Rohani Islam Mahasiswa Kimia BEMJ Kimia UNJ selama dua periode dan staf Departemen Managemen Masjid Ulul Albaab (MUA) selama satu periode. Penulis berharap dengan pengalamannya dalam organisasi dapat menjadi sumber pelajaran dalam kehidupan.