

**PENGARUH PENAMBAHAN CAIRAN ION [BMIm]Cl
TERHADAP KARAKTERISTIK MEMBRAN ELEKTROLIT
PADAT BERBASIS KARBOKSIMETIL SELULOSA DAN
LiTFSI**

Skripsi

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Mencapai derajat sarjana S-1
Program Studi Kimia**



Oleh:
Yuda Adrian Saputra
21106030012

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2025**



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1840/Un.02/DST/PP.00.9/08/2025

Tugas Akhir dengan judul : Pengaruh penambahan cairan ion [BMIm]Cl terhadap karakteristik membran elektrolit padat berbasis karboksimetil selulosa dan LiTFSI

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : YUDA ADRIAN SAPUTRA
Nomor Induk Mahasiswa : 21106030012
Telah diujikan pada : Selasa, 19 Agustus 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Dr. Imelda Fajriati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 68a5d87439aeb



Penguji I

Sun Theo Constan Lotebulo
SIGNED

Valid ID: 68a722ef01ace



Penguji II

Karmanto, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 68a5614d90858



Yogyakarta, 19 Agustus 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 68a7294e932f6

SURAT PERNYATAAN

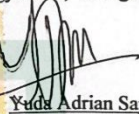
Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Yuda Adrian Saputra
NIM : 21106030012
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "PENGARUH PENAMBAHAN CAIRAN ION [BMIm]Cl TERHADAP KARAKTERISTIK MEMBRAN ELEKTROLIT PADAT BERBASIS KARBOKSIMETIL SELULOSA DAN LiTFSI" merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 04 Agustus 2025




Yuda Adrian Saputra
NIM: 21106030012

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir
Lamp :-

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Yuda Adrian Saputra
NIM : 21106030012
Judul Skripsi : Pengaruh penambahan cairan ion [BMIm]Cl terhadap karakteristik membran elektrolit padat berbasis karboksimetil selulosa dan LITFSI

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 21 Juli 2025

Pembimbing I

Dr. Imelda Fajriati, M.Si

NIP: 19750725 200003 2 001



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp :-

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Yuda Adrian Saputra

NIM : 21106030012

Judul Skripsi : Pengaruh penambahan cairan ion [BMIm]Cl terhadap karakteristik membran elektrolit padat berbasis karboksimetil selulosa dan LITFSI

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunafasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 4 Agustus 2025

Pembimbing II

Dr. Sun Theo Constan Lotehulo Ndruru, S.Pd, M.Si.

NIP: 19851214 200903 1 006

HALAMAN MOTTO

“Tugas Kita bukanlah untuk berhasil, tugas kita adalah untuk mencoba”

Karena didalam mencoba itulah kita menemukan kesempatan untuk
berhasil

-Buya Hamka-



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Cinta pertama, pintu surga dan tempat alasan penulis untuk terus berjuang menyelesaikan skripsi ini hingga akhir, mamak tercinta “**SITI MARFUAH**”. Seorang Wanita yang memiliki peran ganda bagi penulis yaitu sebagai seorang ayah dan ibu. Dengan keterbatasan ekonomi beliau mampu memberikan fasilitas dan pendidikan yang layak bagi penulis hingga bisa mengenyam bangku perkuliahan. Selalu mendukung pilihan penulis dan selalu mendoakan penulis hingga selama perkuliahan penulis selalu mendapatkan lingkungan yang baik. Terimakasih sudah menjadi “mamak” terbaik versi penulis yang sudah supportif dan selalu ada disaat penulis merasa *stuck* selama menyelesaikan skripsi ini

Skripsi ini dipersembahkan untuk Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta



KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, dengan memanjatkan puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Pengaruh penambahan cairan ion [BMim]Cl terhadap karakteristik membran elektrolit padat berbasis karboksimetil selulosa dan LiTFSI”**, sehingga salah satu syarat menyelesaikan perkuliahan di Program Sarjana (S1) pada Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

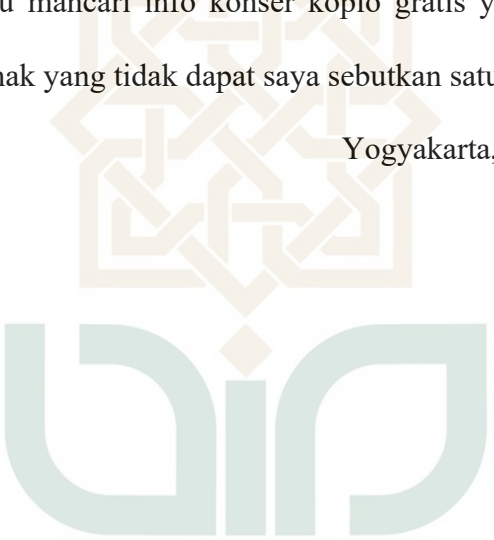
Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan dan nasehat dari berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
2. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M. Si. selaku Ketua Program studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
3. Ibu Dr. Imelda Fajriati, M.Si. Selaku dosen pembimbing skripsi satu atas bimbingan, arahan serta nasehat yang diberikan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
4. Seluruh staff pengajar di Program Studi Kimia yang telah memberikan ilmu-ilmu baik itu ilmu akademik maupun tata krama selama perkuliahan.
5. Bapak Dr. Sun Theo Constan Lotebulo Ndruru, M.Si. Selaku pembimbing kedua yang telah mendidik, mengarahkan, menasehati, dan memberikan kesempatan kepada penulis untuk bisa menjadi “Assistant Research” selama kurang lebih satu tahun sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini tanpa memikirkan biaya yang harus dikeluarkan.
6. Mamak tercinta “Siti Marfuah”. Yang telah memberikan semua yang penulis butuhkan dan tidak pernah lelah mendoakan penulis selama menyelesaikan skripsi ini.
7. Teman seperjuangan penulis, Erlangga Bastian Akbar. Terimakasih sudah menjadi teman selama perkuliahan dan selalu mengajak “Hiling” penulis sehingga penulis tidak bosan selama menjalani perkuliahan dan terimakasih sudah memberikan tumpangan selama ini, semoga kita bertemu lagi di versi kita sukses nanti. Serta

- Muhammad Rizal, Terimakasih masih sudi menjadi teman penulis hingga sekarang dan jangan lupa selalu jaga api streak kita.
8. Teman-teman seperjuangan di LAB makromolekul: Kak Atika, Kak Dhea, Kak Fauziyah, Kak Tazkia, Kak Sarah, Kak Novi, Amanda, Bunga, Reski dan Rina. Terimakasih sudah membuat hari-hari penulis selalu tertawa, yang selalu membantu penulis dalam beberapa kesulitan yang dihadapi penulis selama menyelesaikan skripsi ini.
 9. Teman-teman perkuliahan penulis Endah, Dewi dan Maria. Teman-teman penulis yang memiliki hobi yang sama yaitu konser koplo. Yang selalu mencari info konser koplo gratis yang ada disekitar Jogja-Solo.
 10. Seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Yogyakarta, 01 Agustus 2025

Penulis



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
INTISARI	xvii
ABSTRACT	xviii
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan penelitian	4
1.3 Rumusan masalah	5
1.4 Tujuan penelitian.....	5
1.5 Manfaat penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Landasan Teori.....	9
2.2.1 Baterai Ion Litium	9
2.2.2 Membran Elektrolit Padat (MEP).....	11
2.2.3 Karboksimetil Selulosa (CMC).....	13
2.2.4 Cairan Ion.....	14
2.2.5 Garam Litium bis(trifluorosulfonil)imida (LiTFSI)	19
2.2.6 Karakterisasi Membran Elektrolit Padat (MEP).....	20
2.3 Kerangka Berpikir dan Hipotesis.....	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	40
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	40
3.2 Alat-Alat Penelitian.....	40
3.3 Bahan-Bahan Penelitian	40
3.4 Diagram Alir	41
3.5 Prosedur Kerja.....	42
3.6 Teknik Analisis Data.....	44
3.7 Perhitungan	47

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	50
4.1 Sintesis Cairan Ion 1-butyl-3-metil imidazolium klorida [BMIm]Cl	50
4.1.1 Analisis Kemurnian Cairan Ion 1-butyl-3-metil imidazolium klorida [BMIm]Cl.....	51
4.1.2 Analisis Gugus Fungsi Cairan Ion 1-butyl-3-metil imidazolium klorida [BMIm]Cl.....	53
4.1.3 Elusidasi Struktur Cairan Ion 1-butyl-3-metil imidazolium klorida [BMIm]Cl.....	55
4.2 Membran elektrolit Padat (MEP) CMC/LiTFSI dan CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl57	
4.2.1 Identifikasi Gugus Fungsi dan Interaksi-Kompleksasi yang terjadi pada MEP CMC/LiTFSI dan CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl.....	59
4.2.2 Identifikasi Konduktivitas Ion MEP CMC/LiTFSI dan CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl66	
4.2.3 Identifikasi Transport Number MEP CMC/LiTFSI dan CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl70	
4.2.4 Identifikasi Kemampuan Polarisasi dan Relaksasi MEP CMC/LiTFSI dan CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl.....	79
4.2.5 Identifikasi sifat Mekanik MEP CMC/LiTFSI dan CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl85	
4.3 Identifikasi Kristalinitas MEP.....	88
4.4 Kestabilan Termal MEP.....	90
4.5 Identifikasi Citra Morfologi MEP.....	93
BAB V PENUTUP	96
5.1 Kesimpulan.....	96
5.2 Saran.....	97
LAMPIRAN	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Ilustrasi skema mekanisme reaksi baterai ion litium.	11
Gambar 2. 2	Representasi pengisian dan pengosongan baterai membran elektrolit padat	12
Gambar 2. 3	Struktur kimia karboksimetil selulosa (CMC)	14
Gambar 2. 4	Struktur cairan ion, 1-butyl-3-metil imidazolium klorida, [BMIm]Cl.....	18
Gambar 2. 5	Spektra FTIR dari 1-butyl-3-metil imidazolium klorida, [BMIm]Cl	19
Gambar 2. 6	Struktur garam LiTFSI	20
Gambar 2. 7	Komponen utama spektrometer FTIR	21
Gambar 2. 8	Spektrum dekonvolusi IR pada 300 cm^{-1} (O-H) dan 1500 cm^{-1} (C=O) dari (a,b) CMC (100) dan (c,d) CMC/CMCh (80/20)	22
Gambar 2. 9	Spektra $^1\text{H-NMR}$ [BMIm]Cl	23
Gambar 2. 10	Spektra $^{13}\text{C-NMR}$ [BMIm]Cl.....	24
Gambar 2. 11	Simulasi spektra impedansi	25
Gambar 2. 12	Nyquist plot perwakilan dari (a) MC/CMC (50/50) + 10% LiClO_4 dan (b) MC/CMC (50/50) + 10% LiClO_4 [EMIm]Ac cairan ion.....	26
Gambar 2. 13	Respon frekuensi terhadap mekanisme dielektrik	27
Gambar 2. 14	Variasi (a) dielektrik real (ϵ_r) dan (b) imajiner (ϵ_i) terhadap frekuensi, (c) komposisi konstanta dielektrik pada 1 kHz dan (d) variasi kerapatan energi konstanta dielektrik terhadap frekuensi untuk campuran polimer PVA/CMC/PPy/x wt% MWCNTs	28
Gambar 2. 15	Hubungan plot tangen loss dengan frekuensi	30
Gambar 2. 16	Hubungan frekuensi dari modulus elektrik real (a) dan imajiner (b) untuk campuran polimer MWCNTs	32
Gambar 2. 17	Kurva tegangan pada polimer, (A) polimer getas, (A) polimer elastis dan (C) elastomer	33
Gambar 2. 18	Difraktogram (a) kulit buah kakao nias, (b) selulosa kulit buah kakao nias, dan (c) CMC kulit buah kakao nias.....	34
Gambar 2. 19	Prinsip Kerja DSC	35
Gambar 2. 20	Interpretasi kurva pemanasan kedalam termogram DSC	36
Gambar 2. 21	Skema SEM	37

Gambar 3. 1	Diagram alir pembuatan MEP.....	41
Gambar 4. 1	Mekanisme reaksi SN_2 dari sintesis cairan ion [BMIm]Cl	51
Gambar 4. 2	Spektrum FTIR (a) 1-metilimidazol, (b) cairan ion [BMIm]Cl komersil dan (c) Cairan ion [BMIm]Cl hasil sintesis.....	53
Gambar 4. 3	Spektrum 1H -NMR cairan ion [BMIm]Cl hasil sintesis.....	56
Gambar 4. 4	MEP (a) CMC (100), (b) CMC/LiTFSI (95/5), (c) CMC/LiTFSI (90/10), (d) CMC/LiTFSI (85/15), (e) CMC/LiTFSI (80/20), (f) CMC/LiTFSI (75/25), (g) CMC/LiTFSI (70/30), dan (h) CMC/LiTFSI (65/35) .	57
Gambar 4. 5	MEP (a) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 5%, (b) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 10%, (c) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 15%, (d) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 20%, (e) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 25%, (f) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 30%	58
Gambar 4. 6	Spektra IR MEP MEP (a) CMC (100), (b) CMC/LiTFSI (95/5), (c) CMC/LiTFSI (90/10), (d) CMC/LiTFSI (85/15), (e) CMC/LiTFSI (80/20), (f) CMC/LiTFSI (75/25), (g) CMC/LiTFSI (70/30), dan (h) CMC/LiTFSI (65/35).....	59
Gambar 4. 7	Usulan Mekanisme Ion Hopping MEP CMC/LiTFSI .	61
Gambar 4. 8	Spektra IR MEP (a) CMC/LiTFSI (90/10) (b) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 5%, (c) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 10%, (d) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 15%, (e) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 20%, (f) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 25%, (g) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 30%	62
Gambar 4. 9	Usulan Mekanisme Ion Hopping MEP CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl.....	64
Gambar 4. 10	Kurva hubungan kurva plot cole - cole (a) dan frekuensi vs konduktansi (b) MEP CMC/LiTFSI.....	66
Gambar 4. 11	Kurva hubungan kurva plot cole - cole (a) dan frekuensi vs konduktansi (b) MEP CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl.....	68

Gambar 4. 12	Kurva dekonvolusi IR MEP (a) CMC/LiTFSI (95/5), (b) CMC/LiTFSI (90/10), (c) CMC/LiTFSI (85/15), (d) CMC/LiTFSI (80/20), (e) CMC/LiTFSI (75/25), (f) CMC/LiTFSI (70/30), dan (g) CMC/LiTFSI (65/35).	73
Gambar 4. 13	Kurva dekonvolusi IR MEP (a) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 5%, (b) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 10%, (c) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 15%, (d) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 20%, (e) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 25%, (f) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 30%	77
Gambar 4. 14	Kurva Dielektrik Real MEP (a) CMC/LiTFSI dan Dielektrik Real MEP (b) CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl.....	80
Gambar 4. 15	Kurva Dielektrik Imajiner MEP (a) CMC/LiTFSI (a) dan Dielektrik Imajiner MEP (b) CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl.....	81
Gambar 4. 16	Kurva Tangen Loss MEP (a) CMC/LiTFSI (a) dan Tangen Loss MEP (b) CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl.....	82
Gambar 4. 17	Kurva Modulus Real (M') MEP (a) CMC/LiTFSI (a) dan Modulus Real (M') MEP (b) CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl.....	83
Gambar 4. 18	Kurva Modulus Imajiner (M'') MEP (a) CMC/LiTFSI dan Modulus Imajiner (M'') MEP (b) CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl.....	84
Gambar 4. 19	Kurva kuat tarik dan perpanjangan putus MEP CMC/LiTFSI dan CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl	86
Gambar 4. 20	Difraktogram XRD MEP CMC/LiTFSI/[BMIm]Cl ...	88
Gambar 4. 21	Dekonvolusi XRD MEP (a) CMC (100), (b) CMC/LiTFSI (90/10) dan (c) CMC/LiTFSI (90/10) + [BMIm]Cl 15%	89
Gambar 4. 22	Kurva TGA-DTA MEP CMC/LiTFSI / [BMIm]Cl Optimum	91
Gambar 4. 23	Citra morfologi MEP (a) CMC (100), (b) CMC/LiTFSI (90/10) dan (c) CMC/LiTFSI/[BMIm]Cl (90/10/15)..	94
Gambar 4.24	Hasil dekonvolusi IR untuk penentuan transport parameter.....	114

Gambar 4. 25	Hasil fitting untuk menentukan konduktivitas ion dengan metode jhonserpowerlaw	117
Gambar 4. 26	Kurva perbandingan penambahan konsentrasi LiTFSI terhadap nilai konduktivitas dengan metode jhonserpowerlaw	118
Gambar 4. 27	Hasil fitting untuk menentukan konduktivitas ion dengan metode nyquis plot	118
Gambar 4.28	Kurva perbandingan konsentrasi penambahan [BMIm]Cl terhadap nilai konduktivitas dengan metode nyquis plot	119
Gambar 4. 29	Hasil fitting untuk menentukan konduktivitas ion dengan metode jhonserpowerlaw	120
Gambar 4. 30	Kurva perbandingan konsentrasi penambahan [BMIm]Cl terhadap nilai konduktivitas dengan metode jhonserpowerlaw	121
Gambar 4. 32	Kurva perbandingan konsentrasi penambahan [BMIm]Cl terhadap nilai konduktivitas dengan metode nyquis plot.....	122
Gambar 4. 33	Fitting metode Jhonserpowerlaw untuk MEP CMC-LiTFSI.....	123
Gambar 4. 34	Fitting metode Jhonserpowerlaw untuk MEP CMC-LiTFSI yang terplastisasi cairan Ion [BMIm]Cl.....	124
Gambar 4. 35	Fitting Nyquis Plot MEP CMC-LiTFSI.....	124
Gambar 4. 36	Fitting Nyquis Plot MEP CMC-LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl.....	125
Gambar 4. 37	Hasil dekonvolusi difraktogram untuk penentuan indeks kristalinitas.....	127

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Persyaratan minimum MEP dalam baterai ion litium	13
Tabel 2. 2	Jenis-jenis kation pada cairan ion.....	15
Tabel 2. 3	Jenis-jenis anion pada cairan ion.....	17
Tabel 3. 1	Variasi MEP CMC dan LiTFSI	43
Tabel 3. 2	Variasi MEP CMC/LiTFSI Optimum yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl	44
Tabel 4. 1	Nilai faktor retardasi (Rf) cairan ion [BMIm]Cl hasil sintesis dan 1- metilimidazol.....	52
Tabel 4. 2	Serapan gugus fungsi cairan ion [BMIm]Cl	55
Tabel 4. 3	Serapan gugus fungsi yang teridentifikasi pada MEP CMC/LiTFSI	60
Tabel 4. 4	Serapan gugus fungsi yang teridentifikasi pada MEP CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl.....	63
Tabel 4. 5	Nilai konduktivitas ion MEP CMC/LiTFSI dan CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl.....	70
Tabel 4. 6	Nilai FI dan CI dari gugus fungsi MEP CMC/LiTFSI	74
Tabel 4. 7	Koefisien difusi ion (D), jumlah ion (η), dan mobilitas ion (μ) dalam MEP CMC/LiTFSI	75
Tabel 4. 8	Nilai FI dan CI dari gugus fungsi MEP CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl	78
Tabel 4. 9	Koefisien difusi ion (D), jumlah ion (η), dan mobilitas ion (μ) dalam CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl	79
Tabel 4. 10	Sifat mekanik MEP CMC/LiTFSI dan CMC/LiTFSI yang terplastisasi cairan ion [BMIm]Cl	87
Tabel 4. 11	Derajat kristalinitas MEP Optimum	90
Tabel 4. 12	Data TGA dari MEP Optimum	92
Tabel 4. 13	Hasil EDX MEP Optimum.....	95

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Diagram Alir Isolasi Cairan Ion [BMIm]Cl.....	106
Lampiran 2	Foto Uji KLT [BMIm]Cl	107
Lampiran 3	Densitas [BMIm]Cl.....	108
Lampiran 4	Spektra IR CMC pa dan CMC komersil	109
Lampiran 5	Spektra IR LiTFSI.....	110
Lampiran 6	Dekonvolusi FI dan CI pada CF ₃	111
Lampiran 7	Perhitungan Transport parameter.....	113
Lampiran 8	Perhitungan Konduktivitas Ion	117
Lampiran 9	Fitting plot konduktivitas	123
Lampiran 10	Perhitungan Dielektrik, Tangen Loss dan Modulus..	126
Lampiran 11	Perhitungan Indeks Kristalinitas	127
Lampiran 12	Dokumentasi Penelitian	128

INTISARI

Pengaruh Penambahan Cairan Ion [BMIm]Cl terhadap Karakteristik Membran Elektrolit Padat yang berbasis Karboksimetil Selulosa dan LiTFSI

Oleh:

Yuda Adrian Saputra

Pembimbing:

Dr. Imelda Fajriati, M.Si

Dr. Sun Theo Constan Lutebulo Ndruru, S.Si, M.Si.

Penggunaan elektrolit cair pada baterai ion litium (BIL) memiliki keterbatasan berupa ketidakstabilan, risiko kebocoran, penguapan, hingga potensi kebakaran akibat pelarut organik. Alternatif yang lebih aman dan ramah lingkungan adalah membran elektrolit padat (MEP). Penelitian ini mempelajari pengaruh penambahan cairan ion 1-butil-3-metil imidazolium klorida ([BMIm]Cl) terhadap karakteristik MEP berbasis karboksimetil selulosa (CMC) yang dikompleks dengan garam LiTFSI. Sintesis [BMIm]Cl dilakukan melalui tahap refluks, ekstraksi, dan destilasi, sedangkan membran disiapkan dengan metode cetak tuang. Pengaruh penambahan [BMIm]Cl dikaji terhadap parameter kunci yaitu konduktivitas ion, sifat mekanik, kristalinitas, morfologi, dan kestabilan termal, yang merupakan kriteria utama dalam menentukan performa optimum MEP untuk aplikasi baterai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan [BMIm]Cl meningkatkan fleksibilitas membran, memperluas fase amorf, dan memfasilitasi transport ion. Kondisi optimum dicapai pada penambahan 15% [BMIm]Cl dengan konduktivitas ion sebesar $1,72 \times 10^{-4}$ S/cm, kuat tarik 35,72 MPa, indeks kristalinitas 44,40%, serta interval dekomposisi termal 301,96–369,40°C. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa penambahan cairan ion [BMIm]Cl berperan signifikan dalam meningkatkan sifat elektrokimia, mekanik, dan termal MEP, sehingga berpotensi diaplikasikan sebagai elektrolit padat pada baterai ion litium.

Kata Kunci: membran elektrolit padat, karboksimetil selulosa, LiTFSI, [BMIm]Cl

ABSTRAK**Effect of [BMIm]Cl Ion Liquid Addition on the Characteristics of Solid Electrolyte Membranes based on Carboxymethyl Cellulose and LiTFSI****By:****Yuda Adrian Saputra****Supervisor:****Dr. Imelda Fajriati, M.Si****Dr. Sun Theo Constan Lutebulo Ndruru, S.Si, M.Si.**

The use of liquid electrolytes in lithium-ion batteries (LIB) has limitations in terms of instability, leakage risk, evaporation, and the potential for fire due to organic solvents. A safer and more environmentally friendly alternative is solid electrolyte membranes (SEM). This study investigates the effect of adding 1-butyl-3-methyl imidazolium chloride ([BMIm]Cl) solution on the characteristics of a CMC-based SEM complexed with LiTFSI salt. The synthesis of [BMIm]Cl was carried out through reflux, extraction, and distillation stages, while the membrane was prepared using the cast-film method. The effect of [BMIm]Cl addition was examined on key parameters such as ionic conductivity, mechanical properties, crystallinity, morphology, and thermal stability, which are primary criteria in determining the optimal performance of MEP for battery applications. The results of the study indicate that the addition of [BMIm]Cl enhances membrane flexibility, expands the amorphous phase, and facilitates ion transport. Optimum conditions were achieved at a 15% addition of [BMIm]Cl, with an ionic conductivity of 1.72×10^{-4} S/cm, tensile strength of 35.72 MPa, crystallinity index of 44.40%, and thermal decomposition interval of 301.96–369.40°C. Based on these results, it can be concluded that the addition of [BMIm]Cl ion liquid significantly improves the electrochemical, mechanical, and thermal properties of MEP, making it a potential candidate for use as a solid electrolyte in lithium-ion batteries.

Keywords: solid electrolyte membrane, carboxymethyl cellulose, LiTFSI, [BMIm]Cl

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baterai adalah perangkat elektrokimia (juga dikenal sebagai sel galvanis) yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik (Pollet et al., 2012). Baterai ion litium (BIL) termasuk jenis baterai yang paling disukai pada saat ini, karena keunggulan yang dimilikinya seperti dapat diisi ulang, tidak memiliki efek memori, waktu pemakaian lama dan memiliki densitas energi yang tinggi dibandingkan dengan baterai jenis lainnya (Perdana, 2021).

Komponen BIL terdiri dari dua elektroda, yaitu anoda (grafit (C_6)) dan katoda (LFP, $LiNiMnCoO_2$ /NMC dan $LiCoO_2$) yang dipisahkan oleh pemisah berpori yang direndam dalam elektrolit cair non-air biasanya menggunakan $LiPF_6$ dalam campuran etilen karbonat (EC) dan setidaknya satu karbonat linear dari dimetil karbonat (DMC), dietil karbonat (DEC), etil metil karbonat (EMC) dan bahan aditif lainnya (Xie & Lu, 2020). Penggunaan elektrolit cair non-air yang digunakan dalam baterai ion litium (BIL) saat ini tidak stabil dan sangat rentan terhadap kebocoran, penguapan, kebakaran, pengeringan dan dapat meningkatkan risiko ledakan karena adanya pelarut organik (Song et al., 2023).

Dalam menangani permasalahan ketidakamanan tersebut, dikembangkan suatu elektrolit padat yang lebih stabil dan aman yang dikenal sebagai membran elektrolit padat (MEP). Bahan pembuatan MEP saat ini masih banyak menggunakan polimer sintetik. Polimer sintetik umum yang banyak digunakan sebagai matriks utama MEP

adalah polietilen oksida (PEO), polikarbonat (PC), polimetil metakrilat (PMMA) dan polisiloksan (POX). Penggunaan polimer sintetik tersebut sebagai matriks utama MEP dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan.

Alternatif untuk mengurangi penggunaan polimer sintetik adalah dengan menggunakan biopolimer dalam pembuatan MEP (Rasali et al., 2020). Membran elektrolit padat (MEP) berbasis biopolimer menawarkan berbagai keunggulan, antara lain memiliki banyak gugus fungsi polar (hidroksil, metoksil, karbonil, dan amino) sebagai pengangkut ion-ion litium untuk bergerak, dapat terurai dalam dan melimpah (Z. Li et al., 2023). Biopolimer yang banyak digunakan dalam pembuatan MEP adalah turunan selulosa.

Karboksimetil selulosa (CMC) merupakan turunan selulosa penting selain selulosa asetat dan metil selulosa yang banyak dimanfaatkan sebagai *host* polimer untuk MEP. Secara struktural perbedaan antara selulosa dan CMC terletak pada gugus karbosimetilnya ($-\text{CH}_2\text{COO}^-$) yang menggantikan atom hidrogen pada gugus hidroksil dari senyawa anhidrat-D-glukosa. CMC memiliki gugus karboksimetil dan hidroksil yang diketahui memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan kation, seperti Li^+ (Darmawan et al., 2024). Penggunaan CMC sebagai matriks utama dalam komponen MEP masih belum maksimal dalam meningkatkan konduktivitas ion sehingga diperlukan pemilihan jenis garam yang baik (Johari et al., 2021).

Garam Litium bis(trifluorometanasulfonil)imida (LiTFSI) merupakan garam litium yang memiliki sifat elektrokimia, stabilitas kimia yang baik dan memiliki interaksi anion TFSI^- yang lemah

terhadap kation Li^+ sehingga menyebabkan LiTFSI mudah terdisosiasi (Muzadi et al., 2023). Penelitian Galle Kankanamge & Kuroda, (2020), tentang efek konsentrasi garam LiTFSI pada kinerja elektrolit polimer padat berbasis PVDF-PEO-LiTFSI menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi LiTFSI (5%, 10%, 15%, dan 20%) memiliki dampak yang signifikan pada karakteristik baterai ion litium. Pada pengujian konduktivitas ion, sampel dengan konsentrasi 20% LiTFSI mencapai konduktivitas ion tertinggi, yaitu mencapai $3.941 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$. Hasil tersebut masih kurang maksimal untuk aplikasi sebagai MEP dengan minimum nilai konduktivitas sebesar 10^{-5} S/cm .

Sementara penelitian Darmawan et al., (2024) menunjukan bahwa kuat tarik MEP berbasis CMC menurun menjadi 12,84 MPa setelah penambahan garam LiCH_3COO 30% m/m, hal ini dikarenakan penambahan garam dapat menurunkan interaksi antar rantai polimer pada MEP. Upaya untuk meningkatkan kinerja MEP terutama konduktivitas ion dan kestabilan mekaniknya adalah dengan melakukan ikatan silang, pencampuran dua atau lebih polimer (*polymer blending*) dan penambahan komposit dan aditif seperti cairan ion dan pemlastis lainnya (Ramlli & Isa, 2014).

Menurut Krishna et al., (2013) cairan ion memiliki sifat-sifat yang unggul dan unik seperti tidak mudah terbakar, titik leleh rendah ($<100^\circ\text{C}$), tekanan uap rendah, serta kemampuan sebagai pelarut yang baik untuk senyawa organik dan anorganik, serta memiliki konduktivitas ion yang tinggi. Cairan ion turunan imidazol bergugus samping pendek banyak dilaporkan sebagai pemlastis pada MEP antara lain 1-etil-3-metilimidazolium bromida ($[\text{EMIm}]\text{Br}$), 1-desil-3-

metilimidazolium bromida ([DMIm]Br) dan 1-butyl-3-metilimidazolium klorida ([BMIm]Cl) (Rei, Wahyuningrum D, 2023). Cairan ion [BMIm]Cl memiliki kation 1-butyl-3-metilimidazolium ($[BMIm]^+$) dan anion klorida (Cl^-) yang dapat meningkatkan disosiasi garam litium dan dapat berinteraksi dengan rantai polimer induk sehingga menghasilkan membran yang fleksibel dan homogen (Shamsuri, 2011).

Berdasarkan hasil literatur, pembuatan MEP menggunakan CMC sebagai matriks utama yang terkompleks oleh garam LiTFSI sebagai elektrolit dan cairan ion [BMIm]Cl hasil sintesis sebagai pemlastis belum pernah dilaporkan. Pada penelitian yang akan dilakukan menggunakan cairan [BMIm]Cl hasil sintesis, karena cairan ion hasil sintesis murah, mudah dan dapat dilakukan dalam laboratorium dalam jumlah yang diinginkan. Cairan ion [BMIm]Cl disintesis dengan mereaksikan 1-metilimidazol dengan klorobutana tanpa menggunakan pelarut dalam sistem refluks. Cairan ion [BMIm]Cl yang dihasilkan akan dianalisis struktur molekulnya menggunakan metode elusidasi, struktur molekul serta menganalisis gugus fungsinya dan akan dijadikan tambahan pada pembuatan MEP. MEP yang dihasilkan akan dipelajari sifat fisikokimianya melalui studi vibrasi molekul, interaksi antar molekul, kompleksasi ion polimer, konduktivitas ion, mekanik, kristalinitas, morfologi dan kestabilan termal.

1.2 Batasan penelitian

Penelitian ini dibatasi pada pengaruh cairan ion terhadap MEP CMC/LiTFSI yang meliputi studi vibrasi molekul, interaksi antar molekul, kompleksasi ion polimer, konduktivitas ion, mekanik,

kristalinitas, morfologi dan kestabilan termal. Sementara, kinerja elektrokimia lain seperti degradasi potensial dan nilai transfer ion tidak dilakukan.

1.3 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan di atas disusun rumusan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik cairan ion [BMIm]Cl yang disintesis?
2. Bagaimana sifat fisikokimia MEP CMC/LiTFSI antara lain studi vibrasi molekul, interaksi antar molekul, kompleksasi ion polimer, konduktivitas ion, tetapan dielektrik, kehilangan dielektrik, kehilangan tangen, modulus elektrik *real*, modulus elektrik imajiner, mekanik, kristalinitas, morfologi dan termal?
3. Bagaimana pengaruh penambahan cairan ion [BMIm]Cl terhadap MEP CMC/LiTFSI antara lain studi vibrasi molekul, interaksi antar molekul, kompleksasi ion polimer, konduktivitas ion, tetapan dielektrik, kehilangan dielektrik, kehilangan tangen, modulus elektrik *real*, modulus elektrik imajiner, mekanik, kristalinitas, morfologi dan termal?

1.4 Tujuan penelitian

Merujuk pada latar belakang dan rumusan permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, maka tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mensintesis dan mengkarakterisasi cairan ion [BMIm]Cl.
2. Mempelajari sifat fisikokimia antara lain studi vibrasi molekul, interaksi antar molekul, kompleksasi ion polimer, tetapan dielektrik, kehilangan dielektrik, kehilangan tangen, modulus

elektrik *real*, modulus elektrik imajiner, mekanik, kristalinitas, morfologi dan termal terhadap membran elektrolit padat CMC/LiTFSI.

3. Mengkaji sifat fisikokimia antara lain studi vibrasi molekul, interaksi antar molekul, kompleksasi ion polimer, konduktivitas ion, tetapan dielektrik, kehilangan dielektrik, kehilangan tangen, modulus elektrik *real*, modulus elektrik imajiner, mekanik, kristalinitas, morfologi dan termal terhadap pengaruh penambahan cairan ion [BMIm]Cl terhadap membran elektrolit padat CMC/LiTFSI

1.5 Manfaat penelitian

Penelitian tentang pengaruh penambahan cairan ion [BMIm]Cl terhadap karakteristik MEP berbasis CMC dan LiTFSI memiliki manfaat bagi peneliti, masyarakat dan industri. Penelitian ini menambah wawasan dan keterampilan kepada peneliti terkait proses sintesis cairan ion dan pengaruhnya terhadap membran elektrolit padat. Untuk masyarakat dan industri, penelitian ini merekomendasikan pembuatan dan penggunaan material elektrolit padat untuk aplikasi baterai ion litium fasa padat.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Cairan ion [BMIm]Cl berhasil disintesis melalui reaksi SN2 antara 1-metilimidazol dan 1-klorobutana dengan tahapan refluks, ekstraksi, dan destilasi. Hasil FTIR, ¹H-NMR, dan ¹³C-NMR menunjukkan spektrum khas yang sesuai dengan struktur [BMIm]Cl, sedangkan KLT membuktikan perbedaan dengan prekursor sehingga reaksi dinyatakan berhasil. Dengan demikian, cairan ion [BMIm]Cl hasil sintesis layak digunakan sebagai pemlastis pada membran elektrolit padat berbasis CMC/LiTFSI
2. Paduan polimer CMC dan garam LiTFSI telah berhasil disintesis dengan metode cetak tuang serta menghasilkan membran optimal pada komposisi CMC/LiTFSI (90/10) (b/b) dengan nilai konduktivitas sebesar $1,26 \times 10^{-7} \text{ S.cm}^{-1}$, sifat termal sebesar 310,76–380,60 °C, hingga kuat tariknya sebesar 63,37 MPa. Analisis gugus fungsi, kristalinitas dan morfologi pada paduan polimer CMC/LiTFSI sudah sesuai dengan literatur.
3. Penambahan cairan ion [BMIm]Cl ke dalam sistem CMC/LiTFSI memberikan pengaruh signifikan terhadap karakteristik membran elektrolit padat (MEP). Peningkatan konsentrasi [BMIm]Cl mampu memperluas fase amorf, memperbaiki interaksi ionik, serta meningkatkan mobilitas ion Li⁺ sehingga menghasilkan membran yang lebih konduktif dan fleksibel. Kondisi optimum

diperoleh pada komposisi CMC/LiTFSI/[BMIm]Cl (90/10/15) dengan konduktivitas ion $1,72 \times 10^{-4}$ S/cm, stabilitas termal 301,96–369,40 °C, dan kuat tarik 35,72 MPa. Kriteria utama penentuan kondisi optimum didasarkan pada konduktivitas ion yang tinggi, kekuatan mekanik ≥ 30 MPa, stabilitas termal ≥ 150 °C, serta morfologi yang homogen. Dengan demikian, membran hasil penelitian ini memiliki potensi diaplikasikan sebagai elektrolit padat pada baterai ion litium.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Untuk meningkatkan performa MEP, disarankan dilakukan blending dengan biopolimer lain seperti kitosan, karboksimetil kitosan, atau pati termodifikasi yang berfungsi memperluas fase amorf dan memperbaiki jalur konduksi ion sehingga meningkatkan fleksibilitas dan homogenitas membran, sehingga diperoleh karakteristik yang lebih optimum sebagai elektrolit padat baterai ion litium.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi-Ravasjani, S., Seddiqi, H., Moghaddaszadeh, A., Ghiasvand, M. E., Jin, J., Oliaci, E., Bacabac, R. G., & Klein-Nulend, J. (2022). Sulfated carboxymethyl cellulose and carboxymethyl κ -carrageenan immobilization on 3D-printed poly- ϵ -caprolactone scaffolds differentially promote pre-osteoblast proliferation and osteogenic activity. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10(September), 1–21. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.957263>
- Akhtar, K., Khan, S. A., Khan, S. B., & Asiri, A. M. (2018). Scanning electron microscopy: Principle and applications in nanomaterials characterization. In *Handbook of Materials Characterization*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2_4
- AMYREZAA. (2015). *Sifat Mekanik Material (1)*. Metallurgist Wannabe. <https://metallurgistwannabe.wordpress.com/2015/07/27/sifat-mekanik-material-1/>
- Aslimeri, & Dkk. (2018). Teknik Transmisi Tenaga Listrik. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Vol. 3, Issue 1). <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Azhari et al. (2022). *Karakterisasi Termal Material Menggunakan DSC* (Issue May).
- Aziz, S. B., Abdulwahid, R. T., Aziz, D. M., Mohammed, P. A., Karim, W. O., Abdullah, R. M., Woo, H. J., Halim, N. A., Hamsan, M. H., & Kadir, M. F. Z. (2024). Study of dielectric and interfacial properties of functional biopolymer-based electrolyte with enhanced conductivity for energy storage application. *Materials Chemistry and Physics*, 322(June), 129607. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2024.129607>
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289–299. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Chaurey, A., & Deambi, S. (1992). Battery storage for PV power systems: An overview. *Renewable Energy*, 2(3), 227–235. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(92\)90036-3](https://doi.org/10.1016/0960-1481(92)90036-3)
- Chu, Y. Y., Wang, Z. B., Gu, D. M., & Yin, G. P. (2010). Performance

- of Pt/C catalysts prepared by microwave-assisted polyol process for methanol electrooxidation. *Journal of Power Sources*, 195(7), 1799–1804. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.10.039>
- Dachriyanus. (2004). *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi* (LPTIK Multimedia (ed.)). Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas.
- Daems, K., Yadav, P., Dermenci, K. B., Van Mierlo, J., & Berecibar, M. (2024). Advances in inorganic, polymer and composite electrolytes: Mechanisms of Lithium-ion transport and pathways to enhanced performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 191(March 2023), 114136. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114136>
- Darmawan, D. A., Yulianti, E., Sabrina, Q., Ishida, K., Sakti, A. W., Nakai, H., Pramono, E., & Ndruru, S. T. C. L. (2024). Fabrication of solid polymer electrolyte based on carboxymethyl cellulose complexed with lithium acetate salt as Lithium-ion battery separator. *Polymer Composites*, 45(3), 2032–2049. <https://doi.org/10.1002/pc.27902>
- Dharaskar, S. A., Varma, M. N., Shende, D. Z., Yoo, C. K., & Wasewar, K. L. (2013). Synthesis, characterization and application of 1-butyl-3 methylimidazolium chloride as green material for extractive desulfurization of liquid fuel. *The Scientific World Journal*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/395274>
- El-naggar, A. M., Alsulaymani, L. A., Kamal, A. M., Albassam, A. A., Lakshminarayana, G., & Mohamed, M. B. (2024). Polyvinyl alcohol/carboxymethyl cellulose blended polymers doped with PPy/milled MWCNTs filler for Flexible optoelectronic and Energy Storage Applications. *Polymer Testing*, 138(July), 108551. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2024.108551>
- Fan, X., Zhong, C., Liu, J., Ding, J., Deng, Y., Han, X., Zhang, L., Hu, W., Wilkinson, D. P., & Zhang, J. (2022). Opportunities of Flexible and Portable Electrochemical Devices for Energy Storage: Expanding the Spotlight onto Semi-solid/Solid Electrolytes. *Chemical Reviews*, 122(23), 17155–17239. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00196>
- Galle Kankanamge, S. R., & Kuroda, D. G. (2020). Molecular structure, chemical exchange, and conductivity mechanism of high concentration litfsi electrolytes. *Journal of Physical Chemistry B*,

- 124(10), 1965–1977. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b10795>
- Ge, M., Cao, C., Biesold, G. M., Sewell, C. D., Hao, S. M., Huang, J., Zhang, W., Lai, Y., & Lin, Z. (2021). Recent Advances in Silicon-Based Electrodes: From Fundamental Research toward Practical Applications. *Advanced Materials*, 33(16), 1–42. <https://doi.org/10.1002/adma.202004577>
- Geng, X., Feng, Y., Wang, Y., Zhang, H., Liu, Y., & Gao, K. (2024). Study on preparation and performance of bagasse/sodium carboxymethyl cellulose gel for inhibiting coal spontaneous combustion. *Arabian Journal of Chemistry*, 17(11), 105991. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2024.105991>
- Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Echelin, P., Joy, D. C., Roming, A. D. J., Lyman, C. E., Fiori, C., & Lifshin, E. (1992). *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis SECOND EDITION*.
- Goodenough, J. B., & Kim, Y. (2010). Challenges for rechargeable Li batteries. *Chemistry of Materials*, 22(3), 587–603. <https://doi.org/10.1021/cm901452z>
- Imtihani, H. N., Wahyuono, R. A., & Permatasari, S. N. (2020). *Biopolimer Kitosan Dan Penggunaannya Dalam Formulasi Obat*. 86.
- Johari, S. N., Afini M., Tajuddin, N. A., Hanibah, H., & Deraman, S. K. (2021). A Review: Ionic Conductivity of Solid Polymer Electrolyte Based Polyethylene Oxide. *International Journal of Electrochemical Science*, 16, 1–15. <https://doi.org/10.20964/2021.10.53>
- Kaur, T., & Patyar, P. (2023). Impact of BMImCl on the thermophysical and FTIR properties of protein model compounds in aqueous solutions. *Journal of Molecular Liquids*, 369, 120877. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.120877>
- Keysight Technologies. (2017). *Basics of Measuring the Dielectric Properties of Materials Appl. Note 5989-2589EN*. 34.
- Krishna, A., Laslau, C., Waterhouse, G. I. N., Zujovic, Z. D., & Travas-Sejdic, J. (2013). Effect of ionic liquid on polyaniline chemically synthesised under falling-pH conditions. *Chemical Papers*, 67(8), 995–1001. <https://doi.org/10.2478/s11696-013-0327-7>
- Li, Y., Wang, Z., Lin, W., Wei, B., & Chen, D. (2023). A Concentrated Electrolyte of LiTFSI and Dimethyl Carbonate for High-Voltage Li Batteries. *ACS Applied Energy Materials*, 6(18), 9337–9346. <https://doi.org/10.1021/acsaem.3c01206>

- Li, Z., Fu, J., Zhou, X., Gui, S., Wei, L., Yang, H., Li, H., & Guo, X. (2023). Ionic Conduction in Polymer-Based Solid Electrolytes. *Advanced Science*, 10(10), 1–18. <https://doi.org/10.1002/advs.202201718>
- MacFarlane, D., Kar, M., & Pringle, J. (2017). *Fundamentals of Ionic Liquids Ionic Liquids in Biotransformations and Electrodeposition from Ionic Handbook of Green Chemistry – Green Solvents Electrochemical Aspects of Ionic Liquids*, 2nd edition *Nanocatalysis in Ionic Liquids*.
- Mitomo, M., & Uenosono, S. (1991). Gas pressure sintering of β -silicon nitride. In *Journal of Materials Science* (Vol. 26, Issue 14). <https://doi.org/10.1007/BF01184995>
- Mohamadpour, F. (2022). Carboxymethyl Cellulose (CMC) as a Recyclable Green Catalyst Promoted Eco-Friendly Protocol for the Solvent-Free Synthesis of 1H-Pyrazolo[1,2-b]Phthalazine-5,10-Dione Derivatives. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 42(4), 1091–1102. <https://doi.org/10.1080/10406638.2020.1768412>
- MSDS NiNo3. (2012). Safety Data Sheet . قم سلا تانایب قرشن Safety Data Sheet. *Material Safety Data Sheet*, 4(2), 8–10. https://us.vwr.com/assetsvc/asset/en_US/id/16490607/contents
- Muzadi, H., Kamalia, N. Z., Lestariningsih, T., & Astuti, Y. (2023). Effect of LiTFSI Electrolyte Salt Composition on Characteristics of PVDF-PEO-LiTFSI-Based Solid Polymer Electrolyte (SPE) for Lithium-Ion Battery. *Molekul*, 18(1), 98–106. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2023.18.1.6446>
- Nayak, P., Sudhakar, Y. N., De, S., Ismayil, Shetty, S. K., & Cyriac, V. (2023). Modifying the microstructure of chitosan/methylcellulose polymer blend via magnesium nitrate doping to enhance its ionic conductivity for energy storage application. *Cellulose*, 30(7), 4401–4419. <https://doi.org/10.1007/s10570-023-05114-x>
- Ndruru, S. T. C. L., Pramono, E., Salsabilla, Q. A., Darmawan, D. A., Annas, D., Aspiyanto, A., Nugroho, R. W. N., & Arcana, I. M. (2024). Synergism of lithium acetate salt toward surface chemistry and physical properties of carboxymethyl chitosan-based solid polymer electrolyte. *Journal of Polymer Science, August*, 1–14. <https://doi.org/10.1002/pol.20240378>
- Ndruru, S. T. C. L., Syamsaizar, A. D., Hermanto, S., Sitanggang, B. C., Tawa, B. D., Kareem, A. A., Hayati, A. T., Ramadhoni, B. F., Sofyan, M. I., Annas, D., Prasetyo, J., Marlina, A., Sabrina, Q.,

- Yulianti, E., Sudaryanto, Wahyuningrum, D., & Arcana, I. M. (2024). Synthesis of carboxymethyl cellulose from coconut fibers and its application as solid polymer electrolyte membranes. *Journal of Applied Polymer Science*, 141(28), 1–22. <https://doi.org/10.1002/app.55629>
- Ndruru, S. T. C. L., Widiarto, S., Pramono, E., Wahyuningrum, D., Bundjali, B., & Arcana, I. M. (2022a). Modification of Nias' Cacao Pod Husk Cellulose through Carboxymethylation Stages by Using MAOS Method and Its Application as Li-ion Batteries' Biopolymer Electrolyte Membrane**. *ChemistrySelect*, 7(44). <https://doi.org/10.1002/slct.202202510>
- Ndruru, S. T. C. L., Widiarto, S., Pramono, E., Wahyuningrum, D., Bundjali, B., & Arcana, I. M. (2022b). The Influences of [EMIm]Ac Ionic Liquid for the Characteristics of Li-Ion Batteries' Solid Biopolymer Blend Electrolyte Based on Cellulose Derivatives of MC/CMC Blend. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 223(3), 1–16. <https://doi.org/10.1002/macp.202100362>
- Orikasa, Y., Yamamoto, K., Shimizu, T., & Uchimoto, Y. (2022). Multiscale and hierarchical reaction mechanism in a lithium-ion battery. *Chemical Physics Reviews*, 3(1). <https://doi.org/10.1063/5.0062329>
- Perdana, F. A. (2021). Baterai Lithium. *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, 9(2), 113. <https://doi.org/10.20961/inkuiri.v9i2.50082>
- Pollet, B. G., Staffell, I., & Shang, J. L. (2012). Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects. *Electrochimica Acta*, 84, 235–249. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.03.172>
- Pranata, K. B., Sulistyanto, M. P. T., Ghufron, M., & Yusmawanto, M. (2019). Pengaruh Variasi Arus Pengisian Pengosongan Muatan Pada Model Baterai Lead Acid Terhadap Perubahan Efisiensi Energi. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 16(1), 42. <https://doi.org/10.20527/flux.v16i1.5311>
- Raja, P. M. V., & Barron, A. R. (2024). Physical methods in chemistry. *Nature*, 134(3384), 366–367. <https://doi.org/10.1002/jctb.5000533702>
- Ramlli, M. a., & Isa, M. I. N. (2014). Conductivity study of Carboxyl methyl cellulose Solid biopolymer electrolytes (SBE) doped with Ammonium Fluoride. *Research Journal of Recent Sciences*, 3(6),

59–66.

- Rani, M. S. A., Mohammad, M., Sua'it, M. S., Ahmad, A., & Mohamed, N. S. (2021). Novel approach for the utilization of ionic liquid-based cellulose derivative biosourced polymer electrolytes in safe sodium-ion batteries. *Polymer Bulletin*, 78(9), 5355–5377. <https://doi.org/10.1007/s00289-020-03382-2>
- Rasali, N. M. J., Saadiah, M. A., Zainuddin, N. K., Nagao, Y., & Samsudin, A. S. (2020). Ionic transport studies of solid biopolymer electrolytes based on carboxymethyl cellulose doped with ammonium acetate and its potential application as an electrical double layer capacitor. *Express Polymer Letters*, 14(7), 619–637. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2020.51>
- Rei, Wahyuningrum D, S. M. (2023). *OPTIMASI METODE SINTESIS MELOXICAM DALAM MEDIUM CAIRAN ION TURUNAN IMIDAZOL MENGGUNAKAN METODE MAOS (MICROWAVE-ASSISTED ORGANIC SYNTHESIS) SERTA UJI IN SILICO*. <https://digilib.itb.ac.id/gdl/view/73286>
- Samsudin, A. S., Khairul, W. M., & Isa, M. I. N. (2012). Characterization on the potential of carboxy methylcellulose for application as proton conducting biopolymer electrolytes. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 358(8), 1104–1112. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2012.02.004>
- Saputri, M. (2015). *Konstanta Dielektrik*. 0(140310150067), 2–8.
- Sastrohamidjojo. (2017). Spektroskopi Edisi ketiga. *Liberty*, 2(2), 12–14.
- Serrano Cardona, L., & Muñoz Mata, E. (2013). Paraninfo Digital. *Early Human Development*, 83(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2006.05.022>
- Shamsuri, A. A. (2011). Ionic Liquids: Preparations and Limitations. *MAKARA of Science Series*, 14(2). <https://doi.org/10.7454/mss.v14i2.677>
- Song, Z., Chen, F., Martinez-Ibañez, M., Feng, W., Forsyth, M., Zhou, Z., Armand, M., & Zhang, H. (2023). A reflection on polymer electrolytes for solid-state lithium metal batteries. *Nature Communications*, 14(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-40609-y>
- Southworth, H. N. (1975). Scanning Electron Microscopy and Microanalysis. In *Physicochemical Methods of Mineral Analysis*. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2046-3_11

- Tarascon, J. M., & Armand, M. (2001). Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. *Nature*, 414(6861), 359–367. <https://doi.org/10.1038/35104644>
- Toe, S., Remigy, J. C., Leveau, L., Chauvet, F., Kerdja, Y., & Tzedakis, T. (2023). Investigating the Physical State of Polymer Electrolyte: Influence of Temperature and LiTFSI Concentration on the Phase of the Different States of the Polymer Electrolyte PEO-LiTFSI. *ECS Advances*, 2(4), 39–44. <https://doi.org/10.1149/2754-2734/ad119d>
- Ummah, M. S. (2019). Understanding NMR Spectroscopy. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- Uygun, H. D. E., & Uygun, Z. O. (2023). Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) Principles and Biosensing Applications. *Handbook of Nanobioelectrochemistry: Application in Devices and Biomolecular Sensing*, 919–939. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9437-1_42
- William. (1980). Materials Science and Eng. *Materials Science and Engineering: A*, 42(1), 181.
- Xie, J., & Lu, Y. C. (2020). A retrospective on lithium-ion batteries. *Nature Communications*, 11(1), 9–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16259-9>
- Yang, Y. P., Huang, A. C., Tang, Y., Liu, Y. C., Wu, Z. H., Zhou, H. L., Li, Z. P., Shu, C. M., Jiang, J. C., & Xing, Z. X. (2021). Thermal stability analysis of lithium-ion battery electrolytes based on lithium bis(Trifluoromethanesulfonyl)imide-lithium difluoro(oxalato)borate dual-salt. *Polymers*, 13(5), 1–12. <https://doi.org/10.3390/polym13050707>
- Yassin, A. Y. (2023). Synthesized polymeric nanocomposites with enhanced optical and electrical properties based on gold nanoparticles for optoelectronic applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 34(1), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s10854-022-09402-3>
- Yue, L., Ma, J., Zhang, J., Zhao, J., Dong, S., Liu, Z., Cui, G., & Chen,

- L. (2016). All solid-state polymer electrolytes for high-performance lithium ion batteries. *Energy Storage Materials*, 5, 139–164. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2016.07.003>
- Zhou, D., Shanmukaraj, D., Tkacheva, A., Armand, M., & Wang, G. (2019). Polymer Electrolytes for Lithium-Based Batteries: Advances and Prospects. *Chem*, 5(9), 2326–2352. <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2019.05.009>

