

**LAPORAN KEMAJUAN
PENELITIAN TERAPAN**



JUDUL PENELITIAN:

**STANDARISASI PRODUKSI HAND SANITIZER BERBASIS ETANOL HSBE
BERBAHAN BAKU KOMODITAS LOKAL DAN LIMBAH LIGNOSELULOSA
UNTUK MEREDUKSI POTENSI PEMALSUAN DALAM PENCEGAHAN
PENULARAN COVID-19**

TIM PENGUSUL:

Dr. Pirim Setiarso, M.Si (NIDN. 0027086003)
Dr. Agus Budi Santoso, M.Pd (NIDN. 0022085805)
Prof. Dr. Nita Kusumawati, M.Sc (NIDN. 0004078201)

UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA
Oktober 2021

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : PENGAPLIKASIAN MEMBRAN POLYVINYLIDENE FLUORIDE-HEXAFLUOROPROPYLENE SEBAGAI SUPPORTING LAYER PENCEGAH KEBOCORAN ELEKTROLIT DAN KOROSI ELEKTRODA PADA DYES SENSITIZED SOLAR CELL BERBASIS PIGMEN ALAM

Peneliti/Pelaksana

Nama Lengkap : Dr Drs PIRIM SETIARSO, M.Si
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Surabaya
NIDN : 0027086003
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi : Kimia
Nomor HP : 081233485871
Alamat surel (email) : pirim_setiarso@yahoo.co.id

Anggota (1)

Nama Lengkap : Drs AGUS BUDI SANTOSO M.Pd
NIDN : 0022085805
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Surabaya

Anggota (2)

Nama Lengkap : Prof Dr NITA KUSUMAWATI S.Si, M.Sc.
NIDN : 0004078201
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Surabaya

Institusi Mitra (jika ada)

Nama Institusi mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 2 dari rencana 3 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 330.423.000,00
Biaya Keseluruhan : Rp 971.420.000,00



Surabaya, 20-10-2021

Ketua,

Dr. Drs. Pirim Setiarso, M.Si
NIP/NIK 196008271988121001

RINGKASAN

Dyes sensitized solar cell (DSSC) menarik perhatian besar terutama karena efisiensi konversi daya yang dapat diterima, kebutuhan biaya rendah dan material dengan kemurnian tidak terlalu tinggi. Kelebihan sistem ini terutama terletak pada teknik fabrikasi yang lebih sederhana dibandingkan *solar cell* berbasis silikon. DSSC tradisional umumnya tersusun dari pigmen teradsorpsi pada fotoelektroda TiO_2 , elektrolit cair, dan elektroda *counter* platinum. Meski menghasilkan efisiensi konversi daya lebih tinggi, DSSC tradisional tertinggal pemanfaatannya karena sejumlah permasalahan seperti kebocoran elektrolit dan evaporasi pelarut. Sejumlah permasalahan tersebut dapat diatasi salah satunya dengan menggunakan elektrolit polimer. Elektrolit jenis ini akan menjebak ion redoks dalam rantai polimer. Dengan efek katalitik elektroda *counter*, ion cenderung melompat di antara rantai polimer untuk mencapai fotoelektroda. Oleh karena itu, pemanfaatan elektrolit polimer menjadi alternatif pilihan yang menjanjikan untuk DSSC berbasis elektrolit cair.

Berbagai pendekatan telah digunakan untuk preparasi membran polimer, diantaranya *electro-spinning*, *casting* larutan polimer, dan sintesis *template*. Di antara ketiganya, *casting* larutan polimer adalah teknik sederhana yang banyak digunakan untuk mendapatkan membran polimer dengan fleksibilitas baik dan ketebalan diinginkan. Sejumlah polimer seperti *poly(ϵ -caprolactone)* (PCL), *poly(ethylene oxide)* (PEO), *poly(vinylidene fluoride)* (PVDF), dan *polyurethane* (PU) telah digunakan untuk tujuan ini. Dari semua polimer tersebut, kopolimer berbasis PVDF (PVDF-HFP) menjadi kandidat potensial karena kekuatan mekanik yang dihasilkan fasa kristalin PVDF, sementara konduksi ionik lebih tinggi difasilitasi oleh fasa amorf HFP.

Penelitian diarahkan untuk mengevaluasi efektivitas pengaplikasian elektrolit padat berbasis membran NF PVDF dan PVDF-HFP sebagai alternatif pengganti elektrolit cair konvensional dalam memicu peningkatan *short circuit current density* (J_{sc}) dan efisiensi (η) sekaligus penurunan *open circuit voltage* (V_{oc}) DSSC. Untuk mencapai target tersebut, penelitian dibagi menjadi tiga tahapan selama tiga tahun. Penelitian tahun pertama dan kedua, masing-masing akan difokuskan pada standarisasi polimer PVDF (2020) dan PVDF-HFP (2021) sebagai *solid phase electrolyte* (SPE) pada sistem DSSC berbasis *photosensitizer Curcuma longa*. Pada akhir penelitian tahun pertama dan kedua diharapkan dapat diperoleh polimer PVDF dan PVDF-HFP standar yang mampu menghasilkan produk DSSC target. Sementara pada penelitian tahun ketiga (2022) akan difokuskan pada analisis *engineering feasibility* dan simulasi DSSC berbasis SPE PVDF/PVDF-HFP dan *photosensitizer Curcuma longa*. Pada akhir penelitian tahun ketiga diharapkan dapat diperoleh dokumen *engineering feasibility* DSSC berbasis SPE PVDF/PVDF-HFP dan *photosensitizer Curcuma longa*. Dengan demikian, pada akhir penelitian tahun ketiga ini dapat diharapkan tercapainya Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT) 6.

Hasil penelitian tahun pertama (2020) menunjukkan bahwa dibandingkan dengan elektrolit cair dan elektrolit gel konvensional, DSSC berbasis elektrolit padat PVDF NF memiliki J_{sc} dan η tertinggi kedua, dan sebaliknya juga memiliki V_{oc} , R_s , R_{CT1} , dan R_{CT2} , serta τ_r terendah kedua dibandingkan elektrolit cair. Lebih lanjut, hasil analisa gugus fungsi menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) menunjukkan dominasi senyawa elektrolit cenderung menyembunyikan spektra khas fasa kristalin dan amorf PVDF. Namun demikian, metode Gaussian telah menunjukkan bahwa struktur nanofiber pada polimer PVDF telah memungkinkan tingginya pengikatan ion K^+ pada *ethylene carbonate* (EC). Kondisi ini

mempermudah keluarnya bentuk tereduksi dari elektrolit ($3I^-$) untuk menuju *photoanode* dan mengembalikan e^- pada hole (h^+) yang terdapat pada struktur senyawa pewarna. Sementara itu, analisa *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) telah menunjukkan ketahanan termal ketiga sistem elektrolit pada DSSC. Hasilnya menunjukkan lebih rendahnya ketahanan termal

dari elektrolit padat berbasis nanofiber PVDF. Hal ini diprediksikan berkaitan erat dengan efek ukuran nano pada sistem elektrolit ini. Meski demikian, sistem elektrolit ini memiliki kestabilan termal yang dibutuhkan di rentang temperatur operasional *solar cell* pada umumnya. Untuk mendapatkan signifikansi perbedaan keseluruhan parameter dari ketiga system elektrolit yang diteliti, dilakukan metode *Analysis of Variance* (ANOVA). Hasilnya menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan pada kualitas DSSC dengan sistem elektrolit padat berbasis NF PVDF dengan elektrolit cair. Fakta ini menjadikan sistem elektrolit padat berbasis NF PVDF sebagai kandidat potensial pengganti sistem elektrolit cair yang rentan akan penguapan pelarut dan kebocoran.

Kata kunci: DSSC, Elektrolit, Polimer, PVDF, PVDF-HFP

BAB I LATAR BELAKANG

A. Latar Belakang

Dewasa ini sel surya mendapat perhatian besar terkait permasalahan lingkungan yang tidak terkendali. Sel surya dengan perkembangan paling pesat saat ini adalah *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC). Sel ini memiliki efisiensi konversi tinggi, rendah biaya, dan prosesnya sederhana. Sistem DSSC tradisional meliputi pigmen teradsorpsi pada fotoelektroda TiO_2 , elektrolit cair, dan elektroda *counter* platina. Meskipun *power conversion efficiency* (PCE) yang dihasilkan lebih tinggi, DSSC tipe ini memiliki kelemahan, terutama pada kebocoran elektrolit dan penguapan pelarut. Permasalahan ini dapat diatasi, salah satunya dengan penggunaan elektrolit polimer, karena kemampuannya mempertahankan ion redoks dalam rantai. Efek katalitik elektroda *counter* menyebabkan ion cenderung melompat di antara rantai elektrolit polimer untuk mencapai fotoelektroda [1-2].

Elektrolit polimer DSSC dipreparasi dengan merendam membran nanofiber (NF) dalam larutan elektrolit [3-4]. Elektrolit padat dengan struktur nanofiber mampu menghasilkan konduktivitas mendekati elektrolit cair namun dapat mempertahankan struktur padat sehingga dapat mereduksi penguapan pelarut dan kebocoran serta menghasilkan stabilitas mekanis [4-5]. Terdapat sejumlah metode preparasi membran nano, meliputi *electro-spinning* [2;6], pemisahan fasa [2;7] dan sintesis *template* [2;8-11]. Di antara ketiga teknik tersebut, pemisahan fasa paling sederhana dan mampu menghasilkan membran dengan fleksibilitas tinggi. Beberapa polimer yang telah dikembangkan sebagai elektrolit padat adalah *Poly(ϵ -caprolactone)* (PCL), *Polyethylene oxide* (PEO), *Polyurethane* (PU), dan *Poly(vinylidene fluoride)* (PVDF). Diantara keempatnya, PVDF memiliki keunggulan pada kekuatan mekanik tinggi [2;12-14], suhu transisi gelas rendah, kelarutan tinggi dalam pelarut organik, kristalinitas rendah [4;15-16], dan konduktivitas tinggi [4;13-16].

Pada penelitian ini diteliti efektivitas pemanfaatan membran NF PVDF dan PVDF dengan kopolimer *hexafluoropropylene* (PVDF-HFP) sebagai elektrolit padat pengganti elektrolit konvensional pada DSSC berbasis pigmen alam. Keberadaan wilayah amorf pada PVDF dan PVDF-HFP diprediksikan mampu mengadsorpsi sejumlah besar elektrolit cair sekaligus menghasilkan kekuatan mekanis cukup untuk memproduksi *free-standing electrolyte membrane*. Lebih lanjut, kemampuan membran NF PVDF dan PVDF-HFP dibandingkan dengan elektrolit konvensional (elektrolit cair dan elektrolit gel) dalam menghasilkan J_{sc} dan η lebih tinggi. Interaksi polimer-solven pada elektrolit padat berbasis

NF PVDF dievaluasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), sementara transisi termal dipelajari dengan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Sementara itu, ketahanan transfer muatan antarmuka ketiga jenis DSSC diteliti dengan pengukuran menggunakan *current voltage* dan *electrochemical impedance spectroscopy* (EIS).

B. Rumusan Masalah

Penelitian diarahkan untuk menjawab permasalahan “bagaimanakah efektivitas elektrolit padat berbasis NF PVDF dan PVDF sebagai kandidat pengganti elektrolit cair dan gel pada DSSC konvensional?”.

C. Urgensi (Keutamaan) Penelitian

Sumber energi terbarukan diharapkan mampu membantu menyelesaikan masalah terkait kekurangan energi dan pencemaran lingkungan yang disebabkan penggunaan bahan bakar fosil. Memanfaatkan energi matahari menjadi salah satu cara yang layak dikembangkan untuk penyelesaian krisis energi dunia. Teknologi fotovoltaik adalah pilihan terbaik di antara perangkat konversi energi lainnya karena kemampuannya dalam mengarahkan konversi energi matahari menjadi listrik dengan biaya produksi rendah. Namun, sebagian besar teknologi ini berbasis bahan anorganik dengan biaya produksi mahal sehingga mencegah pemanfaatannya secara luas di masyarakat. Saat ini, DSSC telah banyak diselidiki karena kelebihanannya pada biaya pembuatan rendah, prosedur pembuatan mudah dan efisiensi konversi daya tinggi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. *State of The Art* Penelitian

Salah satu tantangan terbesar masyarakat global saat ini adalah menemukan cara untuk mengganti bahan bakar fosil yang perlahan tapi pasti akan hilang, dengan sumber daya energi terbarukan, dan juga untuk menghindari efek negatif sistem energi saat ini pada iklim, lingkungan, dan kesehatan. Beberapa metode pemanenan energi terbarukan, termasuk pemanfaatan energi matahari, akan memainkan peran besar dalam memecahkan kebutuhan energi dunia untuk masa depan. Konversi langsung sinar matahari menjadi listrik cenderung menjadi metode utama untuk menghasilkan energi, dengan asumsi bahwa sarana konversi langsung dapat dikembangkan [17].

Teknologi fotovoltaik telah menarik banyak perhatian karena kemampuannya mengubah energi matahari menjadi listrik tanpa menyebabkan polusi lingkungan [18-19]. Namun, sebagian besar teknologi ini berbasis material anorganik dengan biaya produksi lebih mahal sehingga mencegah pemanfaatannya secara luas di masyarakat [20]. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) telah menarik perhatian besar beberapa dekade terakhir karena prosedur fabrikasi sederhana dan efisiensi konversi energi tinggi dengan biaya produksi rendah [21].

Sistem DSSC umumnya terdiri dari TiO_2 pada kaca *transparent conducting oxide* (TCO) (foto-elektroda), pigmen ruthenium, elektrolit redoks dan elektroda *counter* platinum (Pt) [14;22]. Ketika sinar matahari menerangi DSSC, elektron diinjeksikan dari molekul pigmen tereksitasi foton ke pita konduksi TiO_2 . Elektrolit akan memberikan elektron kembali ke molekul pigmen dan menyebabkan kembalinya pigmen dari keadaan tereksitasi ke keadaan dasar ($3\text{I}^- \rightarrow \text{I}_3^- + 2\text{e}^-$). Elektron TiO_2 dari sirkuit eksternal akan mencapai elektroda *counter*. Pasangan redoks (I^-/I_3^-) diproduksi ulang di antarmuka antara elektrolit dan elektroda *counter* ($\text{I}_3^- + 2\text{e}^- \rightarrow 3\text{I}^-$) [14;23].

Elektrolit menjadi salah satu komponen paling penting untuk menyelesaikan proses konversi fotolistrik dalam DSSC karena tanggung jawabnya dalam transportasi muatan di antara elektroda dan kontinuitas regenerasi pigmen selama operasional DSSC [20;24-25]. Elektrolit juga memiliki pengaruh besar pada efisiensi konversi daya dan stabilitas jangka panjang perangkat. Sejauh ini, efisiensi konversi daya yang luar biasa, mencapai 13%, telah dilaporkan dari DSSC yang melibatkan pemanfaatan elektrolit cair [20;26-27]. Namun, stabilitas yang relatif rendah karena penguapan pelarut, kebocoran elektrolit dan korosi elektroda membatasi komersialisasi DSSC berbasis elektrolit cair [28-29]. Untuk mengatasi

keterbatasan ini, sejumlah elektrolit padat seperti cairan ionik suhu ruang, material pengangkut *hole* organik/anorganik, elektrolit gel polimer, dan elektrolit polimer padat telah digunakan untuk menggantikan peranan elektrolit cair dalam DSSC [19-20;30-33]. Dari sejumlah alternatif tersebut, elektrolit polimer padat menjadi yang paling banyak disukai karena persiapannya yang mudah, biaya rendah dan stabilitas yang baik [19;34-35].

Berbagai macam polimer seperti *polyethylene oxide* (PEO), *poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene)* (PVDF-HFP), *poly(vinylidene fluoride)* (PVDF), *poly(methyl methacrylate)* (PMMA), *polyethylene glycol* (PEG) dan *polyacrylonitrile* (PAN) telah digunakan sebagai elektrolit untuk aplikasi DSSC [21;36-40]. *Poly(vinylidene fluoride)* menjadi material yang banyak dipilih untuk preparasi elektrolit polimer padat karena berbagai keunggulan sifatnya, diantaranya konstanta dielektrik tinggi ($\epsilon \approx 8,4$), keberadaan gugus fungsional penarik elektron yang kuat (-C-F) dan kekuatan mekanik tinggi [21;41-42]. Selain itu, PVDF juga stabil terhadap sebagian besar bahan kimia korosif dan senyawa organik termasuk asam, alkali dan halogen [21;43]. Hasil penelitian Tim Peneliti melalui program Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) 2015-2017 dan PTUPT 2018 semakin mendukung fakta ini, dimana membran PVDF yang menjadi subyek dalam penelitian ini terdeteksi memiliki kekuatan mekanik $\geq 1500 \text{ N/m}^2$, ketahanan termal hingga 375°C dan ketahanan kimiawi hampir pada seluruh rentang pH (2-12) [44-49]. Atom fluorin pada gugus fungsional -C-F juga memiliki jari-jari ionik terkecil dan elektronegativitas sangat tinggi. Kondisi ini akan membantu meningkatkan transpor ionik dan laju rekombinasi pada antarmuka semikonduktor/elektrolit polimer dalam DSSC [21;50-51]. Lebih lanjut, polimer PVDF-HFP dalam DSSC dikenal [52;53] karena stabilitas fotoelektron dan kimianya. PVDF-HFP juga menunjukkan kekuatan mekanik dan konduktivitas ionik tinggi [13-14], dan stabil di TiO_2 dan nanopartikel Pt untuk elektrolit redoks DSSC [14;54].

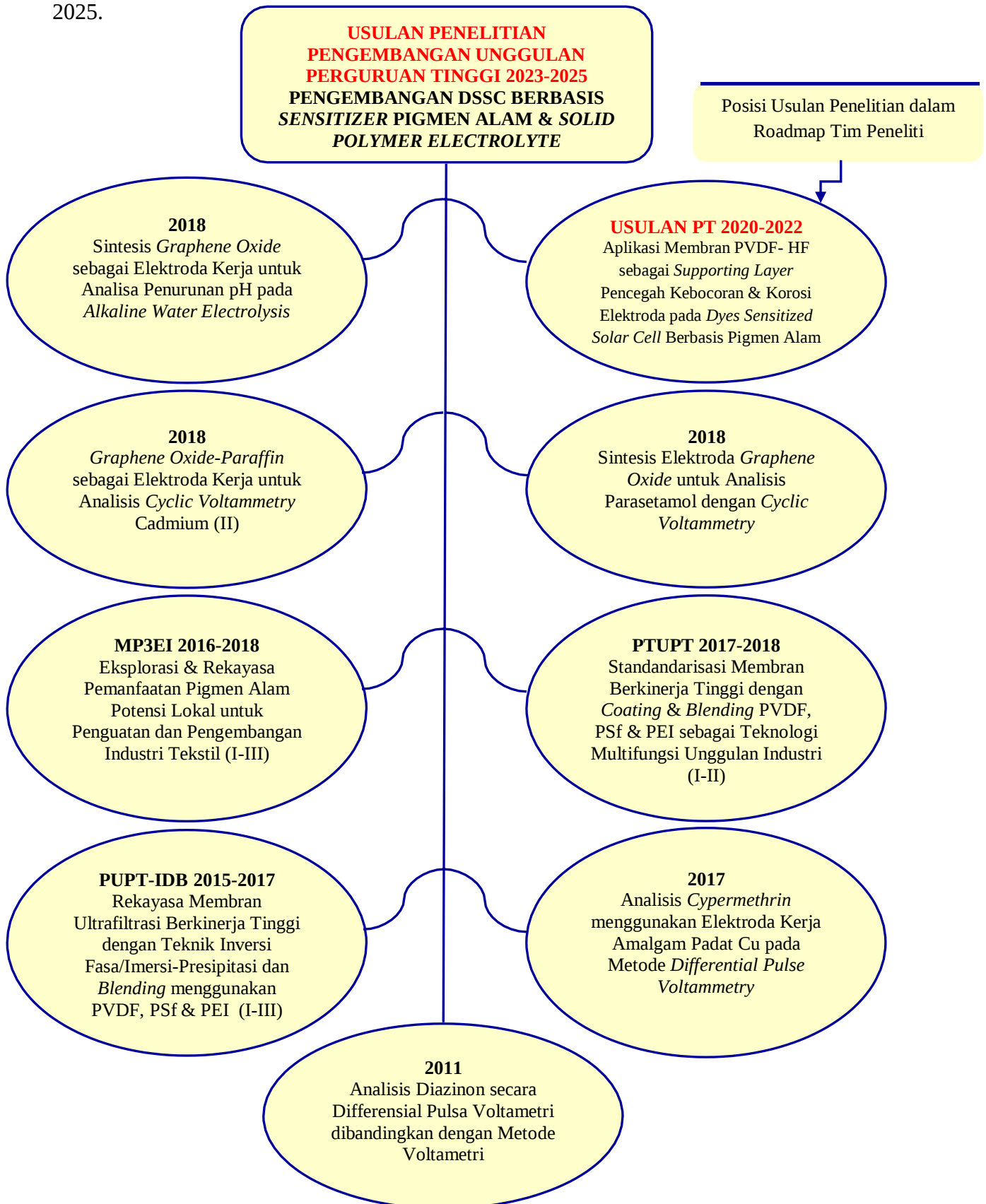
Selain elektrolit, pigmen *sensitizer* juga menjadi faktor kunci yang menentukan tinggi rendahnya kuantitas foton yang mampu terserap dan digunakan untuk memicu terjadinya transpor elektron. Terkait hal ini, pigmen organik telah disintesis dalam jumlah besar untuk pemanfaatannya dalam DSSC, tetapi metode pembuatan dan aplikasinya umumnya tidak ramah lingkungan karena penggunaan bahan pelarut organik berbahaya, reaksi multi-langkah dan tahapan pemurnian yang sulit dan lamban [55-56]. Baru-baru ini, sebagian besar penelitian mengalihkan fokus perhatiannya pada metode produksi dan penerapan pigmen alami yang stabil dan ramah lingkungan untuk sensitasi cahaya matahari, dan juga untuk aplikasi optoelektronik lainnya [55;57]. *Sensitizer* ini bisa mudah didapat dari berbagai bagian tanaman seperti bunga, kayu, buah-buahan, dan daun dengan metode ekstraksi

sederhana. Efisiensi konversi daya masing-masing sebesar 2,30; 1,70; 1,19 dan 2,63% telah dilaporkan untuk DSSC dibuat dengan *sensitizer* yang diekstraksi dari monascus kuning, lobak merah, buah pir berduri liar Sisilia ungu, dan kulit manggis [56-59]. Pigmen alami seperti *anthocyanin* [56;60-61], *chlorophyll* [56;62-63], *tannin* [56;64], karoten [56;65], betalain [56;66] dan *chalcones* [56;67] telah diekstraksi dan digunakan sebagai *sensitizer* dengan efek yang cukup besar.

Khusus betalain, terdapat dua kategori pigmen ini, yaitu *betacyanin* (pigmen merah - ungu) dan (ii) *betaxanthin* (pigmen kuning – oranye) [68-69]. Pigmen alami *Betaxanthin* banyak tersedia di berbagai tanaman, seperti umbi *Curcuma longa* (kunyit). Secara spesifik, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja DSSC berbasis elektrolit polimer padat NF PVDF dan PVDF-HFP menggunakan pigmen *betaxanthin* yang diekstraksi dari *Curcuma longa* sebagai *photosensitizer*. Syafinar et al. [69-70] menunjukkan Spektroskopi UV-Vis pigmen curcumin pada panjang gelombang 400-550 nm dengan penyerapan maksimum pada 480 nm. Suresh et al. [69;71] telah membuat DSSC dengan *photoanode* ZnO nanostruktur tersensitasi pigmen *betaxanthin* yang menunjukkan rentang panjang gelombang serapan cahaya pada rentang 350-490 nm dengan puncak pada 423 nm dan memiliki efisiensi maksimum 0,13%. Sengupta et al. [69;72] menunjukkan bahwa pigmen betanin dapat memberikan efek efisiensi 0,194% menggunakan ZnO. Ruhanea et al. [69;73] menunjukkan bahwa dengan pigmen curcumin efisiensi DSSC dapat bervariasi pada rentang 0,079-0,11% dengan mengubah suhu fotoanoda berbasis TiO₂.

B. Roadmap Tim Peneliti

Pada gambar 2.1 tampak *roadmap* penelitian tim peneliti pada rentang tahun 2011-2025.



Gambar 2.1. *Roadmap* penelitian tim peneliti

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

A. Tujuan Khusus Penelitian

Tujuan khusus penelitian adalah untuk mengetahui efektivitas elektrolit padat berbasis NF PVDF dan PVDF-HFP sebagai kandidat pengganti elektrolit cair dan gel pada DSSC konvensional.

B. Manfaat Penelitian

Meski menghasilkan efisiensi konversi daya lebih tinggi, DSSC tradisional tertinggal pemanfaatannya karena sejumlah permasalahan seperti kebocoran elektrolit dan evaporasi pelarut. Sejumlah permasalahan tersebut dapat diatasi salah satunya dengan menggunakan polimer sebagai pembentuk matrik SPE. Terkait hal ini, keberhasilan penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan sistem DSSC dengan elektrolit padat berbasis NF PVDF dan PVDF-HFP sebagai kandidat potensial pengganti sistem elektrolit cair konvensional yang rentan akan penguapan pelarut dan kebocoran.

BAB IV METODE PENELITIAN

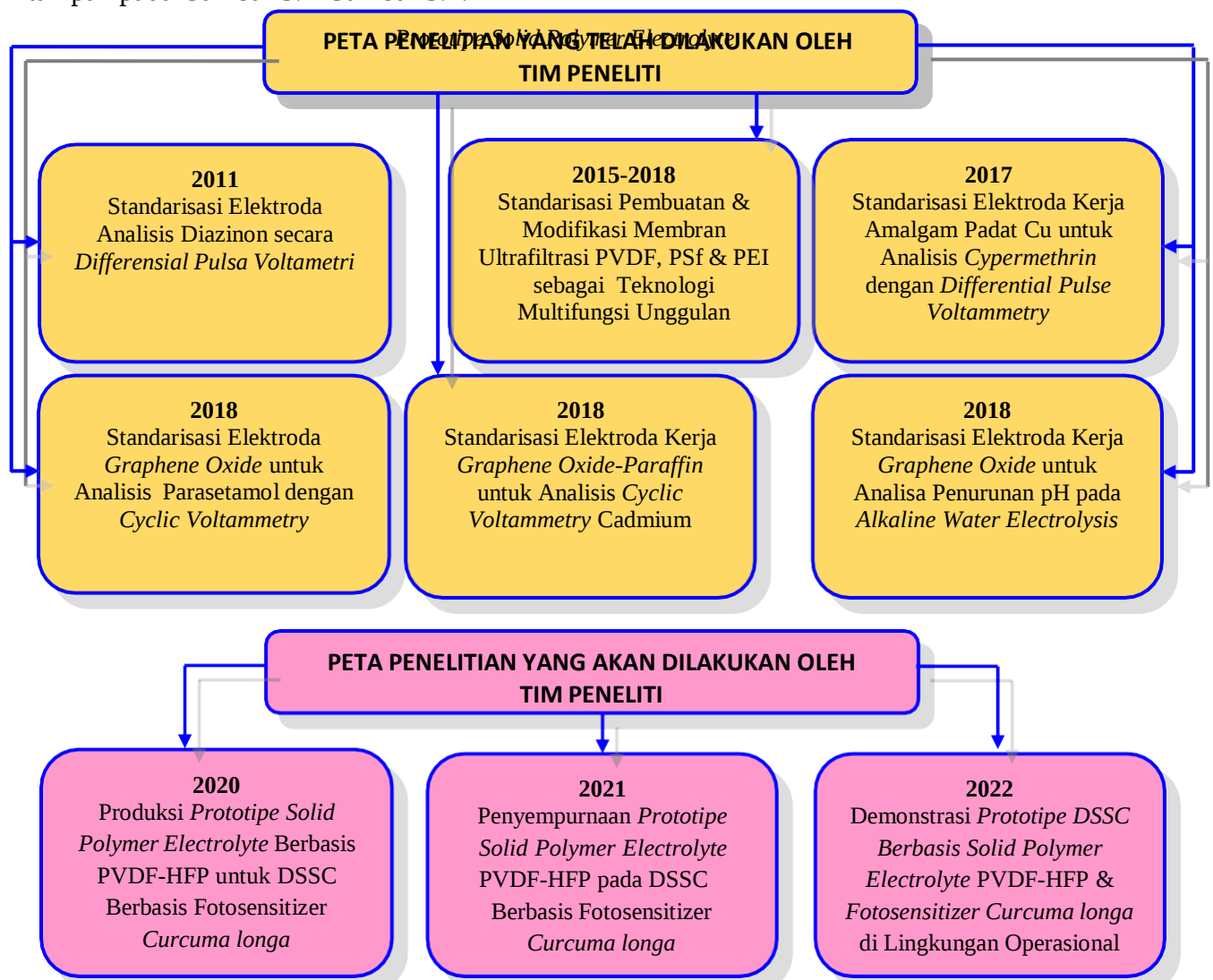
A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di 5 (lima) unit laboratorium, yaitu : (1) laboratorium kimia analitik FMIPA Universitas Negeri Surabaya (Unesa); (2) laboratorium IPA Terpadu FMIPA Unesa; (3) laboratorium instrumentasi kimia Institut Teknologi 10 Nopember (ITS) Surabaya; (4) laboratorium energi ITS Surabaya; dan (5) laboratorium metalurgi ITS Surabaya.

B. Tahapan Penelitian

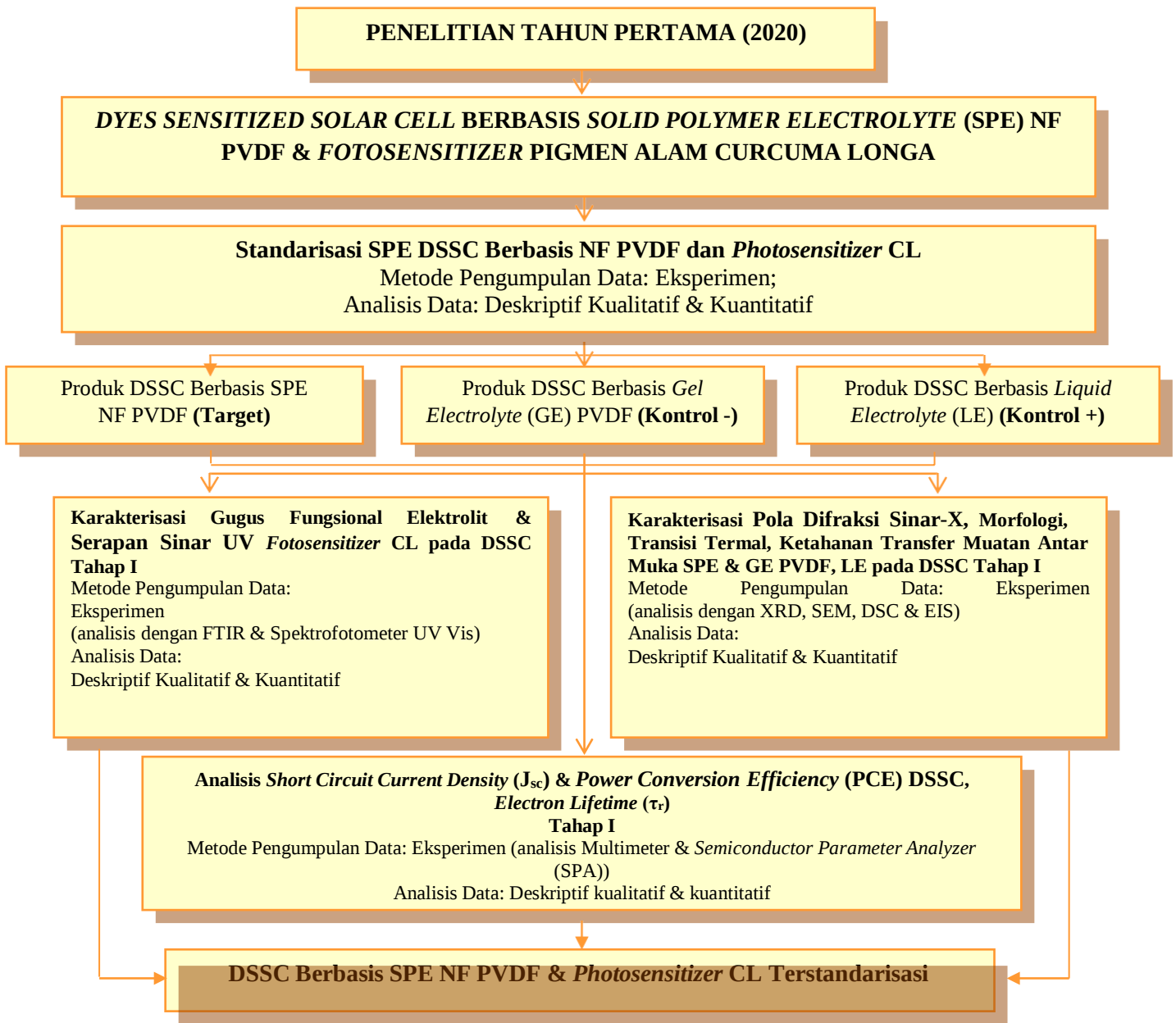
1. Posisi usulan riset pada *roadmap* dan capaian tim peneliti

Penelitian ini terbagi menjadi 3 (tiga) tahapan penelitian selama 3 (tiga) tahun. Posisi usulan riset dalam *roadmap* dan capaian tim peneliti tampak pada Gambar 3.1. Rincian selengkapnya mengenai tahapan penelitian, meliputi metode pengumpulan dan analisis data, tampak pada Gambar 3.2-Gambar 3.4.



Gambar 3.1. Capaian tim peneliti 2012-2018 dan posisi usulan riset 2020-2022 dalam 8 *roadmap*

2. Kerangka operasional penelitian tahun pertama (2020)



Gambar 3.2. Tahapan penelitian tahun pertama (2020)

3. Metodologi

a) Material

Ethylene carbonate (EC) (anhidrat, 99%), *propylene carbonate* (PC) (anhidrat, 99,7%), iodine (I₂) (padat, ≥99,8%), KI (anhidrat, ≥99%), *polyvinylidene fluoride* (PVDF) (bubuk, BM 534.000) dan *n-methyl pyrrolidinone* (NMP) (≥99,7%), titanium dioxide (TiO₂) (*nanopowder*, 21 nm) dan nitric acid (HNO₃) (p.a., ≥65%), seluruhnya dibeli dari Sigma-Aldrich (Singapore). Kunyit, kayu secang dan bunga telang sebagai penghasil

photosensitizer dibeli dari pasar lokal di wilayah Jagir wonokromo. Kaca *fluorine doped tin oxide* (FTO) (*sheet resistance* $<10 \Omega/\text{sq}$, 25 mm x 25 mm).

b) Preparasi membran NF PVDF

Membran NF PVDF dipreparasi menggunakan instrumen *Electrospinning Nachriebe 601*. Larutan *electrospinning* dibuat dengan komposisi 18% yang dipreparasi melalui pelarutan 1,8 g pellet PVDF dalam 6 g DMAc dan 4 g aseton. Pada tahapan selanjutnya, untuk mendapatkan larutan homogen transparan, dilakukan pengadukan selama semalam (12 jam). Prosedur *electrospinning* dilakukan dengan mengaplikasikan voltase 10 kV di antara *spinneret* dan *drum collector*, sementara laju alir *syringe pump* dikontrol pada 1 mL.jam^{-1} dengan jarak 10 cm. *Electro-spun* NF PVDF dikumpulkan di plat kaca terlapis platina yang dilekatkan pada *drum collector* selama 5 jam. Khusus untuk keperluan analisa SEM, *electro-spun* NF PVDF dikumpulkan di plat kaca FTO.

c) Fabrikasi DSSC

Suspensi koloid berupa pasta TiO_2 pertama dipreparasi menggunakan *grinding* 0,2 g TiO_2 dalam 0,1 M HNO_3 dan ditambahkan 0,08 g PEG-1000 serta tween-80 0,05 mL dengan dilakukan pengadukan pada *stirrer* kecepatan 100 rpm selama 30 menit. Lapisan padat bubuk nano TiO_2 berukuran 14 nm dideposisikan pada plat kaca *fluorine doped tin oxide* (FTO) yang telah dibersihkan sebelumnya. Deposisi ini dilakukan dengan mengaplikasikan metode Dr.Blade ketebalan 0,2 mm. Hasil prosedur ini selanjutnya *disinterring* pada temperatur 450°C selama 60 menit dan kemudian didinginkan hingga memiliki temperatur ruang. Sebagai catatan, ukuran plat kaca FTO yang digunakan berukuran 2,5 cm x 2,5 cm. Namun demikian sebagian luasan dilapisi dengan *scotch tape* untuk menghindarkan area kontak elektrik ini dari pelapisan TiO_2 . Dengan demikian, area plat kaca cell yang terlapis TiO_2 adalah 2 cm x 1,5 cm. Elektroda selanjutnya direndam dalam larutan pewarna alam selama 24 jam untuk memberikan kesempatan untuk absorpsi pewarna dalam rangka preparasi *photoanode* TiO_2 tersensitasi pewarna.

Larutan elektrolit dipreparasi dengan melarutkan 0,06 g KI dan 9,2 mg I_2 dalam campuran EC (0,4 g) dan PC (0,4 g). Beberapa tetes *liquid electrolyte* (LE) selanjutnya ditempatkan pada membran NF yang terdeposisi pada plat platinum (Pt) dan didiamkan selama 1 jam untuk memberikan kesempatan bagi absorpsi larutan elektrolit oleh matriks nanofiber untuk membentuk elektrolit quasi-solid-state (atau gel). Elektrolit berlebih dibersihkan secara hati-hati untuk memastikan tidak adanya larutan elektrolit bebas

tertinggal pada elektroda pembanding platina. *Dye sensitized solar cells* (DSSC) difabrikasi dengan konfigurasi FTO/TiO₂/electro-spun NF membrane gel electrolyte/Pt/FTO dengan area cell aktif 3 cm². Sebagai pembanding kinerja device, 2 jenis DSSC lainnya juga difabrikasi, yaitu DSSC dengan *liquid electrolyte* dan *conventional gel electrolyte* dengan polimer PVDF.

Liquid electrolyte dipreparasi menggunakan komposisi sama dengan yang telah dideskripsikan sebelumnya, sedangkan sampel *conventional gel polymer electrolyte* dipreparasi dengan menempatkan membran PVDF yang sebelumnya telah dipreparasi menggunakan metode inversi fasa dalam larutan elektrolit selama 1 jam untuk memberikan kesempatan bagi absorpsi larutan elektrolit oleh matriks PVDF sehingga dihasilkan *conventional gel electrolyte*.

d) Analisa

Morfologi membran NF hasil electro-spun polimer PVDF diobservasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (Zeiss EVO MA10, Germany). Ketebalan membran ditentukan dari gambar SEM dari struktur penampang melintang. Karakteristik densitas arus vs potensial (*J-V*) DSSC dengan area cell aktif 0,25 cm² diukur menggunakan computer-controlled Keithley 2000 multimeter dengan Potentiostat/Galvanostat HA-301 di bawah iluminasi 1000 W/m² menggunakan lampu Xenon 500 dengan filter AM 1,5. Analisa *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) DSSC dilakukan menggunakan Metrohm Autolab Potentiostat/Galvanostat PGSTAT 128 N yang dihubungkan pada FRA32 M Frequency Response Analyzer (FRA) dengan rentang frekuensi 2 Hz – 100 kHz dan sinyal voltase AC 10 mV. Pengukuran ini juga dilakukan di bawah iluminasi 1000 W/m² menggunakan simulator solar yang sama. Termogram *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) diperoleh menggunakan Mettler Toledo DSC 30 *differential scanning calorimeter*. Untuk Analisa DSC, setiap sampel dipindai pada rentang temperatur -70 – 170 °C dengan laju pemanasan 10 °C/menit. Spektra FTIR untuk sampel diperoleh dari mode *attenuated total reflectance* (ATR) pada temperatur ruang menggunakan Nicolet IS10 Thermo Scientific dengan modul *Platinum ATR* (Ge crystal) dan spectrometer pada rentang 400-4000 cm⁻¹ dengan resolusi 1 cm⁻¹.

C. Luaran

Pada **Penelitian Tahun Pertama** luaran yang diharapkan tercapai meliputi : (1) proses dan produk IPTEKS berupa DSSC berbasis *photosensitizer Curcuma longa* dan SPE

PVDF terstandarisasi; (2) publikasi pada jurnal internasional terindeks “Scopus”; (3) publikasi pada temu ilmiah internasional; (4) publikasi pada temu ilmiah nasional; (5) Hak Kekayaan Intelektual (HKI) jenis paten mengenai metode produksi DSSC berbasis SPE PVDF dan *photosensitizer Curcuma longa*; dan (6) Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT) 4.

D. Indikator Capaian Yang Terukur

Indikator capaian yang digunakan untuk mengukur keberhasilan penelitian adalah diperolehnya DSSC berbasis SPE dan *photosensitizer Curcuma longa* dengan spesifikasi : (1) pigmen *sensitizer* memiliki gugus kromofor spesifik yang mampu mengalami transisi elektronik $n \rightarrow \sigma^*$ dan $n \rightarrow \pi^*$; (2) pigmen *sensitizer* menghasilkan serapan pada λ 380-800 nm; (3) SPE PVDF-HFP dengan kinerja DSSC lebih tinggi dibandingkan PVDF; (4) SPE berbasis PVDF dan PVDF-HFP dengan struktur nanofiber; (5) temperatur transisi termal (>140 °C); (6) ketahanan transfer muatan rendah ($<25\Omega$); (7) *short circuit current density* (J_{sc}) mendekati DSSC berbasis pewarna sintesis (10-13%); (8) *lifetime* elektron yang singkat pada *photoanode* (7-8 ms); dan (9) *Power Conversion Efficiency* (PCE) tinggi ($\geq 4\%$).

BAB V

HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

A. Eksplorasi dan Standarisasi Material Pewarna Alam sebagai *Sensitizer* pada Sistem DSSC

Pewarna berperan penting dalam penyerapan dan konversi cahaya menjadi listrik [Ludin et al., 2014 di Omar et al., 2020]. Oleh karena itu, efisiensi pewarna berperan penting dalam penyerapan dan konversi cahaya menjadi listrik [Ludin et al., 2014 di Omar et al., 2020]. Oleh karena itu, efisiensi DSSC sangat bergantung pada jenis pewarna yang digunakan sebagai *sensitizer*. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan pewarna yang dimaksud meliputi luas spektrum absorpsi pewarna, masa hidup elektron, transfer muatan pewarna ke TiO₂ dan pemerangkapan pewarna ke permukaan TiO₂ [Luo et al., 2009 di Omar et al., 2020]. Lebih lanjut, pewarna yang digunakan dalam DSSC dapat dikategorikan menjadi pewarna alami dan sintetik. Secara lebih spesifik, pewarna sintesis dapat dikategorikan menjadi pewarna *metal-organic complex* (MOC) dan *metal-free organic* (MFO) [Ammar dkk., 2019; Arulraj dkk., 2019; Al-Alwani dkk., 2018; Hosseinneshad dkk., 2018; Richhariya dan Kumar, 2018; Richhariya dkk., 2017 di Omar et al., 2020].

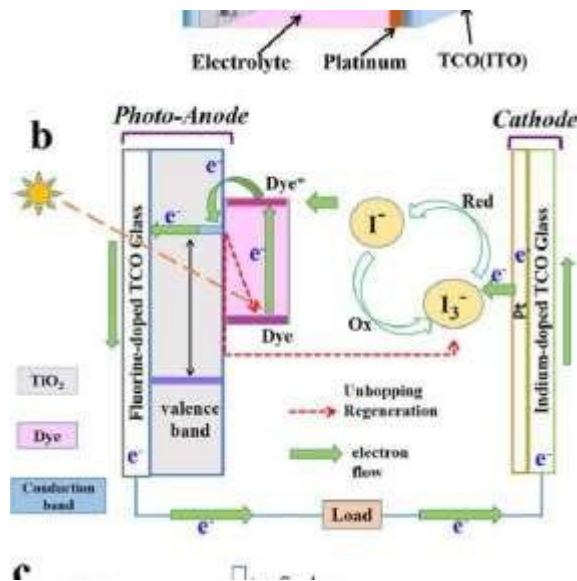
Pewarna MOC seperti *cis*-[Ru(2,2'-bipyridil-4,4'-dicarboxylic acid)₂(NCS)₂] (N₃) dan (Bu₄N)₂ [Ru(2,2'-bipyridil-4,4'-dicarboxylic acid)₂(NCS)₂] (N719) [Tractz et al., 2019 di Omar et al., 2020] memberikan efisiensi konversi maksimum, masing-masing 11% dan 12%, karena daya serapnya yang tinggi terhadap cahaya tampak, sifat kimiawi yang baik untuk melakukan konversi cahaya menjadi listrik dan stabilitas keadaan eksitasi di seluruh rentang panjang gelombang cahaya tampak [Abdel-Latif et al., 2015; Al-Alwani et al., 2018 di Omar et al., 2020]. Hal ini memicu besarnya minat para peneliti untuk melakukan rekayasa molekul senyawa Ru. Sayangnya, jenis pewarna ini beracun dengan kandungan logam berat berbahaya bagi lingkungan. Selain itu, pewarna kompleks Ru sulit disintesis dan mahal, yang tidak dapat diterapkan untuk komersialisasi DSSC [Ludin et al., 2014; Abdel-Latif et al., 2015; Kumara et al., 2015; Ammar dkk., 2019 di Omar et al., 2020]. Oleh karena itu, pewarna MFO mulai diperkenalkan untuk menggantikan MOC sebagai *sensitizer* dalam fabrikasi DSSC. Pewarna MFO lebih murah dan mudah untuk disintesis, tetapi efisiensi yang diperoleh masih kurang dari 10%. Misal Eosin Y dari pewarna xanthene yang dengan absorbansi tinggi hanya memberikan efisiensi 0,55% [Hao et al., 2006 di Omar et al., 2020]. Efisiensi menjanjikan, masing-masing sebesar 9,52% dan 9,8%, diperoleh dari pewarna indoline D205 dan C217 [Ito et al., 2008; Zhang et al., 2009 di Omar et al., 2020]. Mirip

dengan MOC, pewarna jenis ini juga menghadapi masalah stabilitas, yang sebagian besar disebabkan karena rekombinasi dalam sel. Untuk mengatasi kekurangan tersebut, direkomendasikan pengaplikasian pewarna alami untuk menggantikan peranan pewarna sintetis.

Pigmen tanaman berperan penting menentukan jendela spektral fotoabsorpsi aktif dalam pewarna alami [Ashok et al., 2018 di Omar et al., 2020]. Struktur elektronik pigmen tanaman akan bereaksi dengan sinar matahari dan mengubah panjang gelombang yang ditransmisikan atau dipantulkan jaringan tanaman. Oleh karena itu, pigmen dapat diberi label dari panjang gelombang absorpsi maksimum, λ_{maks} dan warna yang tertangkap oleh indera manusia [Ludin et al., 2014; Shalini et al., 2015 di Omar et al., 2020]. Berbagai jenis pigmen alami diantaranya dapat diekstraksi dari beberapa bagian tumbuhan seperti bunga, daun, buah, akar, kulit kayu dan biji [Ludin et al., 2014; Abdel-Latif dkk., 2015 di Omar et al., 2020]. Berbagai jenis pewarna alami menunjukkan efisiensi konversi matahari yang berbeda tergantung pada sumbernya dan struktur kimia pewarna serta interaksi antara molekul pewarna dan fotoanoda. Fungsi utama pewarna dalam DSSC adalah untuk menyerap foton di wilayah tampak (*visible*) atau inframerah dekat dari spektrum matahari. Pewarna yang dimaksud juga harus terikat dengan film TiO_2 , yang melibatkan interaksi dari gugus fungsi karboksilat atau gugus penahan asam perifer lainnya. Beberapa gugus fungsi kimia dapat digunakan untuk mengikat pewarna ke film TiO_2 , seperti asam fosfonat, asam karboksilat dan asamnya turunan (asam klorida, amida, ester atau garam karboksilat). Gugus karboksilat menjadi gugus penahan paling populer karena keberadaan molekul π -aromatik besar [Hug et al., 2014).

Sayangnya, pewarna alami teramati memiliki kinerja buruk pada DSSC karena energi ikat lemah dengan film oksida logam (*photoanode*) dan penyerapan transfer muatan yang rendah pada seluruh rentang cahaya tampak [Hao et al., 2006 di Omar et al., 2020]. Oleh karena itu, untuk mendapatkan efek fotosensitisasi terbaik di beberapa pewarna alami, akan distandarisasi jenis tanaman sumber pigmen, pelarut yang digunakan dalam ekstraksi dan waktu ekstraksi [Hao dkk., 2006 di Omar et al., 2020]. Kinerja pewarna alami diprediksikan lebih baik dibandingkan pewarna sintetis karena adanya asam organik dan alkohol yang berbeda, yang mencegah rekombinasi elektron dengan elektrolit dan agregasi zat warna, sehingga meningkatkan injeksi muatan di dalam sel [Rajan dan Cindrella, 2019 di Omar et al., 2020]. Selain itu, kelebihan lainnya dari pewarna alami sebagai fotosensitizer adalah koefisien absorpsi besar, efisiensi panen foton yang tinggi, sumber tidak terbatas dan kemudahan untuk mendapatkan, biaya rendah, teknik preparasi sederhana, ramah lingkungan,

tingkat kemurnian tinggi dan reduksi signifikan logam berat [Luo et al., 2009; Ludin dkk., 2014 di Omar et al., 2020]. Mekanisme kerja dari *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dapat dijelaskan dibawah ini:



Gambar 4.1. Mekanisme kerja DSSC

Dari gambar diatas dapat dijelaskan bahwa mekanisme transfer elektron yang terjadi pada DSSC meliputi tujuh (7) tahapan yaitu: (1) eksitasi pada molekul pewarna, reaksi: $S_{\text{adsorbed}} + h\nu \rightarrow S^*_{\text{adsorbed}}$; (2) penyutikan elektron pada pita konduksi sehingga dihasilkan pewarna dalam keadaan teroksidasi, reaksi: $S^*_{\text{(adsorbed)}} \rightarrow S^+_{\text{(adsorbed)}} + e^-_{\text{(injected)}}$; (3) transfer energi listrik melalui substrat konduktif, sirkuit eksternal dan elektroda *counter*, reaksi: $e^-_{\text{(injected)}} + \text{C.E.} \rightarrow e^-_{\text{(C.E.)}} + \text{electrical energy}$; (4) reduksi I₃⁻ menjadi I⁻, reaksi: $I_3^- + 2e^-_{\text{(CE)}} \rightarrow 3I^-_{\text{(CE)}}$; (5) oksidasi pewarna dari S⁺ menjadi S, reaksi: $S^+_{\text{(adsorbed)}} + 3/2 I^- \rightarrow S_{\text{(adsorbed)}} + 1/2 I_3^-$; (6) rekombinasi molekul pewarna, reaksi: $S^+_{\text{(adsorbed)}} + e^-_{\text{(TiO}_2\text{)}} \rightarrow S_{\text{(adsorbed)}}$; (7) rekombinasi injeksi elektron pada TiO₂ dengan pewarna yang teroksidasi, reaksi: $I_3^- + 2e^-_{\text{(TiO}_2\text{)}} \rightarrow 3I^-_{\text{(anode)}}$.

Pewarna yang berfungsi sebagai *sensitizer* rangkaian DSSC disyaratkan memiliki daerah serapan panjang gelombang pada *range* 400-800 nm. Pewarna alami tersebut memiliki kesederhanaan, biaya rendah, ramah lingkungan serta kepekaan molekul yang berbeda-beda jika diaplikasikan pada DSSC. Pada Tabel 5.1 – 5.9 tampak data panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) yang didapatkan dari analisa menggunakan Spektrofotometri UV-Vis Pharmaspec UV-1700, tegangan (V) dan kuat arus (I) yang didapatkan dari analisa menggunakan multimeter Krisbow KW06-267 serta *band gap* Humo dan Lumo yang didapatkan dari analisa menggunakan voltametri Metrohm 797 VA Computrace.

Tabel 5.1. Karakteristik serapan pewarna alami pada rentang panjang gelombang 420-440 nm

No	Material (g)	Perbandingan Material (g)	Panjang gelombang (nm)	Multimeter		Voltameter		
				Tegangan (mV)	Kuat Arus (mA)	Homo (mV)	Lumo (mV)	Band Gap (mV)
1	M/M/I	-	437	9,7	0,492	-4,369	-2,906	1,464
2	M/M/II	-	436,7	18	0,146	-4,275	-2,917	1,359
3	S:P/A/II	1:1	432,3	4,6	0,036	-4,297	-1,964	1,389
4	S:K/A/I	1:1	426	19,3	0,116	-4,267	-1,961	1,329
5	S:K/A/II	1:1	437,9	2,4	0,013	-4,255	-1,947	1,294
6	S:K/A/I	1:2	420,5	8,8	0,064	-4,269	-1,938	1,312
7	S:K/A/II	1:2	437,9	2,4	0,013	-4,258	-1,949	1,296
8	S:K/A/II	1:4	425,8	2,4	0,0143	-4,254	-1,951	1,290
9	S:K/A/I	4:1	440,2	17,6	0,113	-4,356	-1,924	1,404
10	S:K/A/I	2:1	434,8	9	0,046	-4,258	-1,946	1,281
11	M/E/II	-	438,8	7,8	0,087	-4,298	-2,909	1,388
12	L/M/I	-	438,3	24,2	0,221	-4,231	-3,024	1,207
13	L/M/II	-	439	37,4	0,292	-4,298	-2,909	1,389

Keterangan:

Kolom Pertama (material)			Kolom Kedua (pelarut)			Kolom Ketiga (waktu ekstraksi)		
1	M	Manggis	1	A	Aquades	1	I	30 menit
2	S	Secang	2	M	Metanol	2	II	24 jam
3	K	Kunyit	3	E	Etanol			
4	L	Klaras						
5	P	Pandan						

Tabel 5.2. Karakteristik serapan pewarna alami pada rentang panjang gelombang 440-460 nm

No	Material (g)	Perbandingan Material (g)	Panjang gelombang (nm)	Multimeter		Voltameter		
				Tegangan (mV)	Kuat Arus (mA)	Homo (mV)	Lumo (mV)	Band Gap (mV)
1	S/M/I	-	449,3	27,6	0,240	-4,291	-3,511	0,779
2	S/M/II	-	444,4	34,3	0,275	-4,262	-2,973	1,289
3	S/E/I	-	447,3	47,6	0,261	-4,274	-2,933	1,379
4	S/E/II	-	448,1	3,30	0,025	-4,293	-2,914	1,340
5	S:K/A/II	2:1	441,6	13,5	0,144	-4,259	-1,952	1,294
6	M/E/I	-	440,6	6,1	0,039	-4,279	-2,918	1,360
7	T/A/II	-	458,6	4,9	0,081	-4,180	-2,954	1,226
8	L/E/II	-	442,3	8,6	0,127	-4,184	-3,086	1,098

Keterangan:

Kolom Pertama (material)			Kolom Kedua (pelarut)			Kolom Ketiga (waktu ekstraksi)		
1	M	Manggis	1	A	Aquades	1	I	30 menit
2	S	Secang	2	M	Metanol	2	II	24 jam
3	K	Kunyit	3	E	Etanol			
4	L	Klaras						
5	T	Tembelekan						

Tabel 5.3. Karakteristik serapan pewarna alami pada rentang panjang gelombang 460-480 nm

No	Material (g)	Perbandingan Material (g)	Panjang gelombang (nm)	Multimeter		Voltameter		
				Tegangan (mV)	Kuat Arus (mA)	Homo (mV)	Lumo (mV)	Band Gap (mV)
1	T/M/II	-	462,3	43,6	0,311	-4,292	-2,909	1,382

2	K/E/II	-	466,0	14,7	0,075	-4,298	-2,905	1,395
3	T/E/II	-	467,9	11,3	0,102	-4,298	-2,912	1,387
4	L/E/I	-	467,3	44,5	0,332	-4,298	-2,912	1,386

Keterangan:

Kolom Pertama (material)			Kolom Kedua (pelarut)			Kolom Ketiga (waktu ekstraksi)		
1	K	Kunyit	1	M	Metanol	1	I	30 menit
2	L	Klaras	2	E	Etanol	2	II	24 jam
3	T	Tembelekan						

Tabel 5.4. Karakteristik serapan pewarna alami pada rentang panjang gelombang 480-500 nm

No	Material (g)	Perbandingan Material (g)	Panjang gelombang (nm)	Multimeter		Voltameter		
				Tegangan (mV)	Kuat Arus (mA)	Homo (mV)	Lumo (mV)	Band Gap (mV)
1	K/M/II	-	484,3	8,60	0,062	-4,298	-2,907	1,395

Keterangan:

Kolom Pertama (material)			Kolom Kedua (pelarut)			Kolom Ketiga (waktu ekstraksi)		
1	K	Kunyit	1	M	Metanol	1	II	24 jam

Tabel 5.5. Karakteristik serapan pewarna alami pada rentang panjang gelombang 500-520 nm

No	Material (g)	Perbandingan Material (g)	Panjang gelombang (nm)	Multimeter		Voltameter		
				Tegangan (mV)	Kuat Arus (mA)	Homo (mV)	Lumo (mV)	Band Gap (mV)
1	K/A/II	-	502,3	27,6	0,161	-4,299	-1,965	1,395

Keterangan:

Kolom Pertama (material)			Kolom Kedua (pelarut)			Kolom Ketiga (waktu ekstraksi)		
1	K	Kunyit	1	A	Aquadess	1	II	24 jam

Tabel 5.6. Karakteristik serapan pewarna alami pada rentang panjang gelombang 520-540 nm

No	Material (g)	Perbandingan Material (g)	Panjang gelombang (nm)	Multimeter		Voltameter		
				Tegangan (mV)	Kuat Arus (mA)	Homo (mV)	Lumo (mV)	Band Gap (mV)
1	S/A/I	-	532	0,6	0,005	-4,247	-2,955	1,292
2	S/A/II	-	539	6,1	0,074	-4,289	-3,304	0,985
3	S:M/A/I	1:1	538,6	26,2	0,193	-4,275	-2,916	1,356
4	S:M/A/II	1:1	534,3	8,2	0,048	-4,257	-1,938	1,288
5	S:M/A/I	1:2	528,8	23,4	0,172	-4,274	-2,912	1,362
6	S:M/A/I	1:4	538,3	26,4	0,137	-4,273	-2,912	1,361
7	S:M/A/II	1:4	534	10,2	0,079	-4,252	-1,956	1,287
8	S:M/A/I	2:1	536,2	64,8	0,342	-4,265	-2,916	1,350
9	S:M/A/I	4:1	536,1	45,6	0,349	-4,269	-2,921	1,349
10	S:K/A/I	4:1	536,1	17,6	0,113	-4,258	-1,946	1,281
11	S:P/A/II	2:1	535,9	2,60	0,019	-4,298	-1,965	1,391
12	M/M/I	-	535,9	8,2	0,071	-4,249	-2,946	1,304
13	M/M/II	-	535,8	19,2	0,203	-4,299	-2,905	1,389
14	M/E/I	-	535,9	28,1	0,265	-4,258	-2,944	1,313
15	M/E/II	-	535,9	7,40	0,041	-4,298	-2,906	1,393

Keterangan:

Kolom Pertama (material)			Kolom Kedua (pelarut)			Kolom Ketiga (waktu ekstraksi)		
1	M	Manggis	1	A	Aquades	1	I	30 menit
2	S	Secang	2	M	Metanol	2	II	24 jam
3	K	Kunyit	3	E	Etanol			
4	P	Pandan						

Tabel 5.7. Karakteristik serapan pewarna alami pada rentang panjang gelombang 600-620 nm

No	Material (g)	Perbandingan Material (g)	Panjang gelombang (nm)	Multimeter		Voltameter		
				Tegangan (mV)	Kuat Arus (mA)	Homo (mV)	Lumo (mV)	Band Gap (mV)
1	TI/A/I	-	618,7	13	0,115	-4,876	-3,724	1,152
2	TI/A/II	-	619,6	9,7	0,098	-4,493	-2,906	1,587

Keterangan:

Kolom Pertama (material)			Kolom Kedua (pelarut)			Kolom Ketiga (waktu ekstraksi)		
1	TI	Telang	1	A	Aquades	1	I	30 menit
						2	II	24 jam

Tabel 5.8. Karakteristik serapan pewarna alami pada rentang panjang gelombang 620-640 nm

No	Material (g)	Perbandingan Material (g)	Panjang gelombang (nm)	Multimeter		Voltameter		
				Tegangan (mV)	Kuat Arus (mA)	Homo (mV)	Lumo (mV)	Band Gap (mV)
1	TI/M/I	-	621,70	7,50	0,071	-5,396	-3,259	2,137

Keterangan:

Kolom Pertama (material)			Kolom Kedua (pelarut)			Kolom Ketiga (waktu ekstraksi)		
1	TI	Telang	1	A	Aquades	1	I	30 menit
						2	II	24 jam

Tabel 5.9. Karakteristik serapan pewarna alami pada rentang panjang gelombang 660-680 nm

No	Material (g)	Perbandingan Material (g)	Panjang gelombang (nm)	Multimeter		Voltameter		
				Tegangan (mV)	Kuat Arus (mA)	Homo (mV)	Lumo (mV)	Band Gap (mV)
1	P/M/I	-	664,6	13,6	0,242	-4,305	-2,909	1,396
2	P/M/II	-	664,1	14,7	0,149	-4,278	-2,932	1,346
3	P/E/I	-	664,3	5,5	0,046	-4,277	-2,911	1,367
4	Kt/M/I	-	664,5	11,6	0,072	-4,303	-2,909	1,394
5	Kt/M/II	-	663,7	4,2	0,031	-4,278	-2,915	1,363
6	Kt/E/I	-	664,1	10,9	0,089	-4,282	-2,918	1,364
7	TI/M/II	-	663,7	6,9	0,064	-4,493	-3,261	1,232
8	TI/E/I	-	664,2	4,1	0,041	-4,389	-3,260	2,129
9	TI/E/II	-	663,2	6,0	0,053	-4,493	-2,907	1,586
10	S:P/A/I	1:1	673,4	40,7	0,365	-4,259	-1,943	1,298
11	S:P/A/I	1:4	675,9	28,6	0,152	-4,262	-1,952	1,276
12	S:P/A/II	4:1	675,2	5,6	0,047	-4,298	-1,965	1,391
13	P/E/II	-	664,9	23	0,785	-4,295	-2,915	1,380
14	Py/M/I	-	664,5	59,2	0,546	-4,278	-2,931	1,347
15	Py/M/II	-	664,2	41,9	0,386	-4,301	-2,911	1,389

16	Py/E/I	-	664	90,2	0,621	-4,299	-2,910	1,389
17	Py/E/II	-	664,3	16,4	0,244	-4,298	-2,921	1,377
18	Ps/M/I	-	664,3	16,3	0,194	-4,237	-3,044	1,194
19	Ps/M/II	-	663,3	9,0	0,075	-4,298	-2,911	1,387
20	Ps/E/I	-	663,3	9,5	0,072	-4,275	-2,907	1,368
21	Ps/E/II	-	665,3	23	0,785	-4,177	-3,202	0,975
22	Ps:A/E/I	1:1	664	34,3	0,244	-4,295	-2,913	1,382
23	Ps:A/E/II	1:1	664,3	16,4	0,236	-4,169	-3,051	1,118
24	Ps:A/E/I	1:2	664,4	14,5	0,075	-4,296	-2,909	1,387
25	Ps:A/E/II	1:2	664,5	15,3	0,077	-4,169	3,151	1,018
26	Py:Ms/E/I	1:1	664,2	26,9	0,268	-4,295	-2,907	1,388
27	Py:Ms/E/II	1:1	664,4	32,7	0,296	-4,297	-2,908	1,389
28	Py:Ms/E/I	1:2	664,4	49	0,408	-4,295	-2,908	1,387
29	Py:Ms/E/II	1:2	664,3	27	0,229	-4,276	-2,912	1,365
30	Py:Ms/E/I	2:1	664,5	49	0,408	-4,297	-2,911	1,386
31	Py:Ms/E/II	2:1	664,3	18,3	0,144	-4,301	-2,909	1,392
32	Kt/E/II	-	664,1	4,9	0,031	-4,201	-2,972	1,227

Keterangan:

Kolom Pertama (material)			Kolom Kedua (pelarut)			Kolom Ketiga (waktu ekstraksi)		
1	P	Pandan	1	A	Aquades	1	I	30 menit
2	S	Secang	2	M	Metanol	2	II	24 jam
3	Kt	Ketapang	3	E	Etanol			
4	Tl	Telang						
5	Py	Pepaya						
6	Ps	Pisang						
7	Ms	Mangsi						

Dari data pada Tabel 5.1 – Tabel 5.9 menunjukkan bahwa setiap material pewarna alami memiliki pigmen pewarna tersendiri (seperti antosianin, betaxanthin, karotenoid, klorofil, flavonoid, betalain, betacyanin, betasantin, brazilin, brazilein dan lain-lain) serta kepekaan terhadap kepolaran pelarut yang berbeda-beda sehingga berdampak pada pergeseran panjang gelombang. Selain itu, karakteristik pewarna sebagai aplikasi DSSC juga dikarakterisasi menggunakan instrumen voltametri siklik sehingga dihasilkan harga energi HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*), LUMO (*Lowest Occupied Molecular Orbital*) serta celah pita energi (*band-gap*). Analisa tersebut didapatkan dari persamaan:

$$E_{HOMO} = -(E_{ox} + 4,4)$$

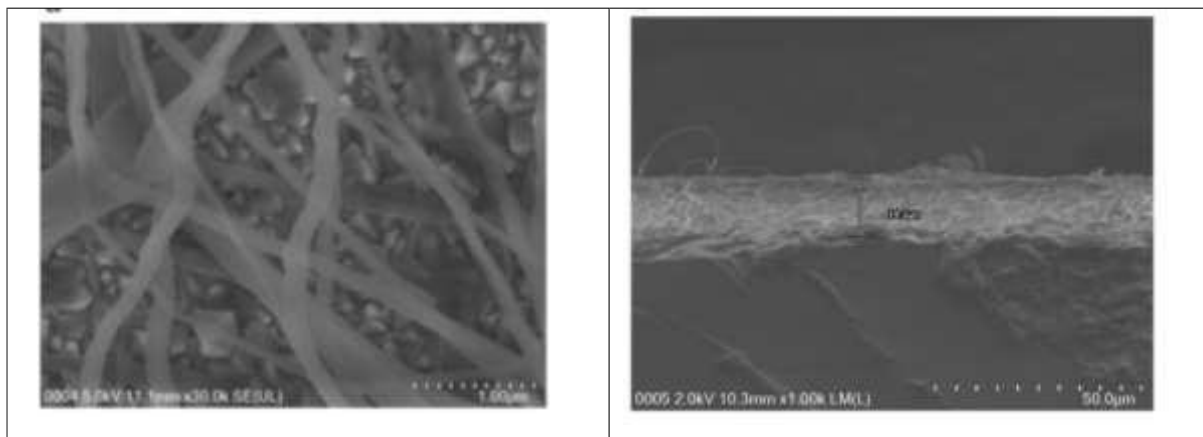
$$E_{LUMO} = -(E_{red} + 4,4)$$

$$\Delta E = LUMO - HOMO$$

Pewarna yang berfungsi sebagai *sensitizer* tersebut disyaratkan memiliki harga HOMO yang rendah dari pita konduksi TiO₂ dan harga LUMO lebih besar dibandingkan semikonduktor pita TiO₂ sebesar -3,2 eV. Selain itu, harga *band-gap* basis *sensitizer* DSSC yaitu paling kecil dikarenakan memungkinkan perpindahan elektron dari satu orbital dengan tingkat energi yang rendah ke orbital dengan tingkat energi yang lebih tinggi menjadi semakin mudah.

B. Morfologi dan Studi *Photovoltaic*

Gambar 5.1 menunjukkan gambar SEM membran PVDF NF hasil *electro-spin*. Voltase, jarak tip dengan collector dan konsentrasi polimer merupakan parameter utama *electro-spinning* yang membangun morfologi permukaan dan diameter fiber pada membran nanofiber. Untuk mendapatkan *solar cell* dengan efisiensi tinggi, pada penelitian ini digunakan membran dengan ketebalan 14 μm . Membran ini tersusun dari jaringan tiga dimensi yang sangat berpori dan saling terhubung dengan diameter fiber 100-300 nm. Keberadaan ikatan silang pada jaringan nanofiber mampu meningkatkan kekuatan mekanik dan stabilitas membran. Sementara morfologi sangat berpori pada jaringan ini akan memfasilitasi peningkatan absorpsi sekaligus retensi *liquid electrolyte* (LE) melalui pembentukan *quasi-solid state* atau elektrolit gel dengan konduktivitas ionik yang mendekati elektrolit cair. Pada gambar 1(a) dapat diamati penampakan butir kecil yang terletak di bawah polimer nanofiber. Material ini merupakan kristalit oksida timah pada gelas FTO, dimana nanofiber dideposisikan.



Gambar 5.1. Gambar SEM membran PVDF *electro-spun* yang terdeposisi pada gelas FTO, (a) morfologi permukaan dan (b) penampang melintang

Kurva *J-V* DSSC yang difabrikasi dengan *PVDF NF membrane-based gel electrolyte*, *conventional gel electrolyte* dan elektrolit cair ditunjukkan pada Gambar 5.2. Paramater cell seperti *open circuit voltage* (V_{oc}), *short circuit current density* (J_{sc}), *fill factor* (FF) dan efisiensi (η) dihitung dari kurva *J-V* ini.

Parameter *photovoltaic* DSSC berbasis *liquid electrolyte*, *PVDF NF membrane based-gel electrolyte* dan *conventional gel electrolyte* dengan berbagai variasi pada komposisi tampak pada Tabel 5.1. Secara umum, nilai J_{sc} tertinggi terobservasi pada DSSC dengan

liquid electrolyte. Hal ini dipicu oleh konduktivitas ionik yang lebih tinggi dari *liquid electrolyte* dibandingkan dua elektrolit lainnya. Sementara nilai J_{sc} terendah ditunjukkan oleh DSSC dengan *conventional gel electrolyte*. Hal ini dikarenakan *conventional gel electrolyte* berperilaku sebagai medium kental seragam yang dibentuk oleh gelas sedangkan untuk *PVDF NF membrane based-gel electrolyte*, elektrolit cair "terperangkap" dan disimpan dalam matriks yang dibentuk oleh jaringan 3D dari struktur membran polimer nanofiber sambil memfasilitasi terjadinya transport ionik, "yang hampir mendekati *liquid*", melalui struktur pori yang saling berhubungan. Kondisi ini menyebabkan nilai konduktivitas dan *photocurrent density* dari cell dengan *PVDF NF membrane based-gel electrolyte* mendekati cell berbasis *liquid electrolyte*.

Tabel 5.1. Parameter *photovoltaic* DSSC berbasis *liquid electrolyte*, *PVDF NF membrane based- gel electrolyte* dan *conventional gel electrolyte* dengan berbagai variasi pada komposisi, rentang panjang gelombang, dan waktu *aging*

Material	Λ (nm)	Elektrolit	$J_{sc}/\text{mA.cm}^{-2}$	V_{oc}/mV	$FF/\%$	$\eta/\%$
L/M/II	420-440 (439)	Liquid Elektrolit	$3,6 \times 10^{-3}$	282	$36,9 \times 10^{-2}$	1,01
		Gel Elektrolit	$2,3 \times 10^{-3}$	209	$35,4 \times 10^{-2}$	0,49
		Solid Elektrolit	$2,9 \times 10^{-3}$	222	$36,1 \times 10^{-2}$	0,64
S/E/I	440-460 (447,3)	Liquid Elektrolit	$3,6 \times 10^{-3}$	434	$19,4 \times 10^{-2}$	1,56
		Gel Elektrolit	$2,8 \times 10^{-3}$	363	$13,4 \times 10^{-2}$	1,03
		Solid Elektrolit	$3,2 \times 10^{-3}$	416	$17,1 \times 10^{-2}$	1,35
L/E/I	460-480 (467,3)	Liquid Elektrolit	$3,5 \times 10^{-3}$	335	$34,6 \times 10^{-2}$	1,18
		Gel Elektrolit	$2,6 \times 10^{-3}$	268	$24,7 \times 10^{-2}$	0,7
		Solid Elektrolit	$3,2 \times 10^{-3}$	334	$28,1 \times 10^{-2}$	1,08
k/M/II	480-500 (484,3)	Liquid Elektrolit	$3,3 \times 10^{-3}$	401	$46,9 \times 10^{-2}$	1,32
		Gel Elektrolit	$2,2 \times 10^{-3}$	354	$29,5 \times 10^{-2}$	0,77
		Solid Elektrolit	$3,3 \times 10^{-3}$	393	$36,6 \times 10^{-2}$	1,28
k/A/II	500-520	Liquid Elektrolit	$3,5 \times 10^{-3}$	344	$40,5 \times 10^{-2}$	1,21

	(502,3)	Gel Elektrolit	$1,4 \times 10^{-3}$	321	$23,5 \times 10^{-2}$	0,45
		Solid Elektrolit	$2,3 \times 10^{-3}$	340	$27,6 \times 10^{-2}$	0,79
S:M/A /I	520-540 (536,2)	Liquid Elektrolit	$3,1 \times 10^{-3}$	401	$63,5 \times 10^{-2}$	1,26
		Gel Elektrolit	$2,7 \times 10^{-3}$	357	$48,8 \times 10^{-2}$	0,95
		Solid Elektrolit	$2,9 \times 10^{-3}$	391	$57,1 \times 10^{-2}$	1,17
T/A/I	600-620 (618,7)	Liquid Elektrolit	$3,6 \times 10^{-3}$	475	$25,3 \times 10^{-2}$	1,69
		Gel Elektrolit	$2,9 \times 10^{-3}$	424	$21,3 \times 10^{-2}$	1,23
		Solid Elektrolit	$3,4 \times 10^{-3}$	463	$23,9 \times 10^{-2}$	1,60
T/M/I	620-640 (621,7)	Liquid Elektrolit	$3,3 \times 10^{-3}$	416	$42,5 \times 10^{-2}$	1,36
		Gel Elektrolit	$2,8 \times 10^{-3}$	383	$32,8 \times 10^{-2}$	1,06
		Solid Elektrolit	$3,1 \times 10^{-3}$	389	$38,2 \times 10^{-2}$	1,21
Py/E/I	660-680 (664)	Liquid Elektrolit	$3,0 \times 10^{-3}$	434	$52,7 \times 10^{-2}$	1,31
		Gel Elektrolit	$2,1 \times 10^{-3}$	349	$42,4 \times 10^{-2}$	0,72
		Solid Elektrolit	$2,7 \times 10^{-3}$	393	$44,1 \times 10^{-2}$	1,06
P/M/I	660-680 (664,6)	Liquid Elektrolit	$3,1 \times 10^{-3}$	390	$45,3 \times 10^{-2}$	1,18
		Gel Elektrolit	$2,7 \times 10^{-3}$	308	$42,1 \times 10^{-2}$	0,84
		Solid Elektrolit	$2,9 \times 10^{-3}$	327	$40,4 \times 10^{-2}$	0,93

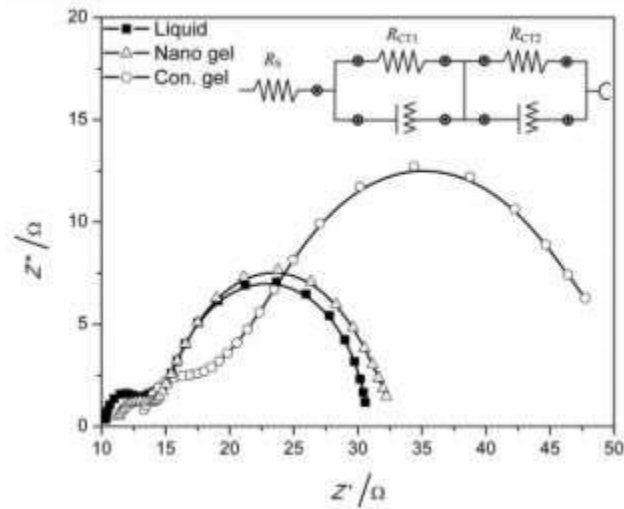
Sebagaimana tampak pada Tabel 5.1, Untuk DSSC spesifik di bawah iluminasi, V_{oc} didefinisikan sebagai perbedaan di antara level Fermi semikonduktor TiO_2 atau level energi tertinggi yang dapat ditempati oleh material pada temperatur absolut nol dengan level redoks dari elektrolit pada *open circuit*. Perbedaan ini dibentuk oleh *photo-generated electron* pada pita konduksi TiO_2 . Jika konduktivitas ionik elektrolit tinggi, laju transport *photo-generated electron* dari TiO_2 melalui sirkuit eksternal ke *counter electrode* dan kemudian ke elektrolit dan pewarna juga lebih tinggi. Sebagai tambahan, transport muatan di *bulk* dan pada

antarmuka tinggi untuk *liquid electrolyte* (ditunjukkan oleh pengukuran EIS). Oleh karena itu, perbedaan di antara level Fermi dan level redoks menjadi lebih rendah untuk cell dengan elektrolit berkonduktansi tinggi karena transpor muatan yang cepat akan mengarah pada reduksi jumlah *photo-generated electron* di pita konduksi. Ketika *circuit* terbuka, elektron pita konduksi mengalami rekombinasi dengan ion di elektrolit dan dengan *hole* di pita valensi. Semakin cepat kinetika transfer muatan, semakin tinggi laju rekombinasi pada *circuit* terbuka. Perbedaan di antara level Fermi dan level redoks pada kesetimbangan menentukan V_{oc} cell. Oleh karena itu, potensial cell tertinggi pada densitas arus rendah diperoleh dari cell berbasis *conventional gel electrolyte* karena kinetika rekombinasi yang lambat, sementara potensial cell terendah pada densitas arus rendah ditemukan pada cell berbasis *liquid electrolyte* karena rekombinasi yang paling cepat. Selain itu, dari tabel juga dapat diamati terkait pengaruh elektrolit yang digunakan terhadap harga arus hubung singkat (J_{sc}). Arus hubung singkat (J_{sc}) sangat berkaitan erat dengan konduktivitas ionik dimana dijelaskan mengenai sistem transportasi muatan. Adanya polimer elektrolit dapat menurunkan laju transportasi muatan yang terjadi didalamnya sehingga harga J_{sc} menjadi lebih kecil. Akan tetapi, hal tersebut juga dipengaruhi dari tingkat kepadatan polimer, dimana polimer PVDF nanofiber memiliki ukuran pori yang lebih besar dibandingkan polimer PVDF sehingga laju transportasi muatan yang terjadi didalamnya akan lebih cepat dibandingkan dengan DSSC yang menggunakan polimer elektrolit PVDF. Hal tersebut ditunjukkan dari setiap variasi komponen pewarna memiliki harga arus hubung singkat (J_{sc}) dengan variasi elektrolit cair > polimer PVDF NF > polimer PVDF.

Efisiensi DSSC yang difabrikasi dengan *liquid electrolyte*, membran NF PVDF berbasis *quasi solid state (gel) electrolyte* dan *conventional gel electrolyte* masing-masing adalah sebesar 1,69; 1,60; dan 1,23% dengan *sensitizer* dari bunga telang pelarut aquades. Bunga telang dengan pelarut aquades memiliki efisiensi tertinggi dibandingkan yang lainnya dikarenakan mengandung pigmen antosianin. Pigmen antosianin mengandung komponen ausokrom seperti gugus karbonil (-COOH) dan hidroksil (-OH) yang memiliki kemampuan dalam menyerap cahaya tampak dari matahari sehingga proses transfer foton antara pigmen pewarna dengan semikonduktor pita TiO_2 menjadi semakin cepat sehingga efisiensi yang dihasilkan nantinya akan semakin besar. Hasil ini menunjukkan bahwa DSSC dengan membran NF PVDF berbasis *quasi solid state* menghasilkan efisiensi 27% lebih tinggi dibandingkan DSSC yang menggunakan *conventional gel electrolyte*.

C. *Electrochemical Impedance Spectra*

Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) digunakan untuk mengevaluasi ketahanan antarmuka ataupun transport elektron terutama resistansi antarmuka yang terjadi pada sistem rangkaian DSSC yang mempengaruhi konduktivitas ionik bersih dan pada akhirnya mempengaruhi J_{sc} . Plot Nyquist dari ketiga tipe DSSC dengan konfigurasi FTO/TiO₂/electrolyte/Pt/FTO ditunjukkan pada Gambar 5.2. Inset pada Gambar 5.2 menunjukkan *equivalent circuit* yang digunakan untuk menyesuaikan data EIS. Parameter R_s , R_{CT1} dan R_{CT2} , masing-masing didefinisikan sebagai hambatan seri, hambatan transfer muatan antarmuka Pt/elektrolit dan hambatan transfer muatan antarmuka TiO₂/elektrolit. Kurva pada Gambar 5.2 digunakan untuk menghitung hambatan transfer muatan yang ditampilkan pada Tabel 5.2. Berdasarkan data, hambatan seri dan hambatan transpor muatan antarmuka (R_s , R_{CT1} dan R_{CT2}) terendah didapatkan dari DSSC yang difabrikasi dengan *liquid electrolyte*. Oleh karena itu, transpor muatan tertinggi pada antarmuka dan *bulk* ditunjukkan oleh cell berbasis *liquid electrolyte*. Nilai J_{sc} tertinggi yang terobservasi pada cell ini sangat dipengaruhi oleh transpor muatan yang lebih cepat pada keduanya, baik di antarmuka maupun *bulk*. Secara berkebalikan, DSSC dengan *conventional gel electrolyte* menghasilkan nilai hambatan tertinggi, baik di *bulk* maupun antarmuka. Cell berbasis *PVDF NF membrane-based gel electrolyte* menghasilkan hambatan transpor muatan intermediet. Tren variasi hambatan transpor muatan di *bulk* dan antarmuka berkaitan erat dengan variasi pada nilai J_{sc} . Sebagaimana telah didiskusikan, cell berbasis *liquid electrolyte* menghasilkan densitas arus *circuit* pendek dan nilai efisiensi lebih tinggi namun aplikasi praktisnya terbatas karena isu stabilitas yang berkaitan dengan volatilitas solven. Oleh karena itu, solar cell berbasis *PVDF NF membrane-based gel electrolyte* yang mampu menghasilkan efisiensi konversi energi sebesar 1,60% dan J_{sc} $3,4 \times 10^{-3}$ mA.cm⁻² menjadi alternatif yang baik untuk aplikasi praktis DSSC.



Gambar 5.2. *Electrochemical Impedance Spectra* DSSC yang dibuat dengan beberapa elektrolit berbeda. Inset: *Circuit* ekivalen untuk perangkat

Dari gambar diatas, pengukuran EIS dihasilkan parameter pengukuran berupa R_s , R_{1CT} dan R_{2CT} dengan konfigurasi pengurkuran FTO/TiO₂/dye/elektrolit/Pt/FTO. R_s menunjukkan resintansi seri, R_{1CT} resistansi transfer muatan dari antarmuka Pt/elektrolit, dan R_{2CT} menunjukkan resistansi transfer muatan dari antarmuka TiO₂/elektrolit. Persamaan perhitungan yang digunakan yaitu:

$$Z_{DSSC} = R_s + \frac{R_{PT}}{1 + (j\omega)^{n_{PT}} R_{PT} CPE_{PT}}} + \frac{R_{CT}}{1 + (j\omega)^{n_{CT}} R_{CT} CPE_{CT}}} + R_D \sqrt{\frac{D_{I_s} - J\delta^2}{j\omega}} \tanh \sqrt{\frac{j\omega}{D_{I_s} - J\delta^2}}$$

Dimana Π_{PT} merupakan elemen fasa konstan (CPE) yang mengindikasikan counter elektroda/elektrolit, Π_{CT} menjelaskan mengenai fotoanoda/permukaan elektrolit, R_D merupakan hasil dari perlawanan difusi Warburg dan δ menunjukkan panjang difusi.

Tabel 5.2. Parameter *impedance* DSSC dengan sejumlah elektrolit berbeda

Elektrolit DSSC	R_s/Ω	R_{CT1}/Ω	R_{CT2}/Ω	τ/ms	$\eta/\%$
Liquid electrolyte	5,5	2,0	8,8	2,54	1,69
PVDF NF membrane-based gel electrolyte	6,2	2,5	9,2	3,37	1,60
Conventional gel electrolyte	7,4	5,4	9,4	3,87	1,23

Dari tabel diatas, diketahui bahwa harga R_s , R_{CT1} dan R_{CT2} dari elektrolit cair paling rendah, polimer elektrolit dengan PVDF menghasilkan hasil yang paling tinggi dan polimer elektrolit dengan PVDF nanofiber menunjukkan resistansi transportasi muatan menengah.

Kandungan polimer yang tinggi dapat meningkatkan nilai R_{CT} melalui keterbatasan pada reaksi rekombinasinya sehingga berdampak pada peningkatan resistansi transfer muatan dari antarmuka Pt/elektrolit, dan R_{2CT} menunjukkan resistansi transfer muatan dari antarmuka TiO_2 /elektrolit begitupun sebaliknya. Selain itu, peningkatan tersebut terjadi karena adanya pengaruh peningkatan adhesi antara elektrolit dan counter elektroda yang berperan utama dalam transfer elektron dan proses rekombinasi elektron yang disuntikkan foto dari semikonduktor dengan pewarna atau elektrolit secara efektif akan ditekan oleh elektrolit dengan adanya kepadatan polimer.

Dalam rangka untuk memahami kinetika transpor muatan pada tiga jenis DSSC yang berbeda, *Bode phase diagram* digunakan untuk mengestimasi *lifetime* elektron pada *photoanode* TiO_2 . *Lifetime* elektron, τ_r , ditentukan dari puncak di rentang frekuensi pertengahan dari plot *phase angle* vs. Frekuensi.

$$\tau_r = \frac{1}{\omega_{maks}} = \frac{1}{2\pi f_{maks}}$$

Dimana ω_{maks} dan f_{maks} masing-masing adalah frekuensi angular dan frekuensi puncak. Nilai τ_r ini berkaitan dengan tranfer muatan pada antarmuka TiO_2 /elektrolit dan nilai yang diperoleh pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 5.2. Sebagaimana yang tampak pada Tabel 5.2, *lifetime* (τ_r) elektron terpendek ditunjukkan oleh cell dengan *liquid electrolyte* dan *lifetime* terpanjang ditunjukkan oleh cell dengan *conventional gel electrolyte*. Hasilnya menunjukkan bahwa elektron tereksitasi pada cell berbasis *liquid electrolyte* mengalami rekombinasi dengan I_3^- di dalam elektrolit lebih cepat dibandingkan pada cell berbasis *conventional gel electrolyte*.

Lifetime photoelectron di *photoelectrodes* meningkat dengan urutan dari *liquid electrolyte* < *PVDF NF membrane-based gel electrolyte* < *conventional gel electrolyte*. Oleh karena itu, laju rekombinasi pada permukaan *photoelectrode*/elektrolit mengalami perubahan mengikuti urutan yang sama. Jika kita mempertimbangkan bahwa cell di circuit terbuka, namun di bawah iluminasi, akan terjadi peningkatan elektron pita konduksi dengan urutan yang terbalik, dimana nilai tertinggi dihasilkan oleh *conventional gel electrolyte*. Oleh karena itu, perbedaan di antara level Fermi dan level redoks yang terendah dihasilkan oleh cell berbasis *liquid electrolyte* dan yang tertinggi dihasilkan oleh cell berbasis *conventional gel electrolyte*. Hal ini sangat jelas menggambarkan bahwa potensial cell tertinggi pada densitas arus rendah diproduksi oleh cell berbasis *conventional gel electrolyte*, sedangkan potensial

cell terendah pada densitas arus rendah dihasilkan oleh cell berbasis *liquid electrolyte*, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 5.2.

D. Analisa FTIR

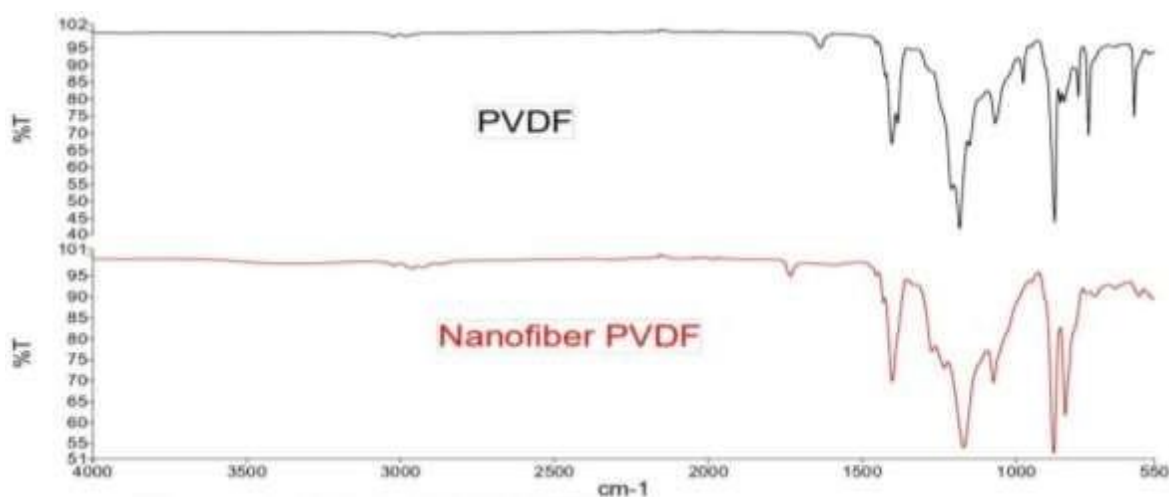
Analisa FTIR dilakukan dengan tujuan untuk memberikan gambaran ikatan dan struktur kimia yang terjadi akibat adanya interaksi antara ion/polimer/pelarut dan elektrolit melalui pergeseran panjang gelombang yang terukur. Pada penelitian ini, analisa terutama dilakukan terhadap jenis elektrolit yang diaplikasikan pada sistem rangkaian DSSC yaitu *liquid electrolyte*, *PVDF NF membrane-based gel electrolyte*, dan *conventional gel electrolyte*. Selain itu dalam mengetahui interaksi yang terjadi didalamnya juga dilakukan analisa pada komponen penyusun elektrolit dan membran yaitu etilen karbonat (EC), propilen karbonat (PC) dan polimer *poly(vinylidene fluoride)* (PVDF). PVDF merupakan polimer termoplastik semikristalin yang memiliki empat fasa kristal yaitu α , β , γ , dan δ . Spektra FTIR dari PVDF murni dan PVDF NF pada rentang wilayah 600 – 4000 cm^{-1} dibandingkan pada Gambar 5.4. PVDF murni yang dikenal sebagai polimer semi-kristalin menunjukkan puncak FTIR yang mengacu pada kedua fasa penyusunnya, yaitu kristalin (fasa- α) dan amorf (fasa- β). Berdasarkan hasil analisa FTIR pada polimer penjebak sistem rangkaian DSSC yaitu PVDF murni dan PVDF NF dapat diklasifikan berdasarkan tabel 5.3.

Tabel 5.3. Puncak kurva yang teramati pada spectra FTIR untuk PVDF murni dan PVDF NF pada rentang 600-4000 cm^{-1}

Spesifikasi Daerah Serapan	PVDF (cm^{-1})	NF PVDF (cm^{-1})
Stretching asimetris CH_2	2984,09	2961,30
Wagging CH_2	1402,3	1401,79
Stretching CF	1182,17 873,09	1169,08 875,84
Bending CH	1066,92	1071,86
Kombinasi CF_2 & Vibrasi Stretching CCC	873,09	875,84
Bending CH_2	873,09	875,84
Amorphous phase (β -phase)	873,09	875,84
CH_2 rocking	841,15	838,81
Stretching asimetris CF_2	841,15	838,81
Crystalline phase (α -phase)	762,71	740,40
Vibrasi rocking CH_2	762,71	740,40
Mixed mode CF_2 bending and CCC skeletal vibrations	613,88	598,85

Kemunculan puncak dari gugus penyusun polimer PVDF dan PVDF NF pada rentang panjang gelombang diatas, sebagaimana dilaporkan oleh Shau *et al.*, Kumar *et al.*, Abbrent *et al.*, dan Bandara *et al.* (2018) berkaitan erat dengan vibrasi *bending*; *wagging* gugus CF_2 dari

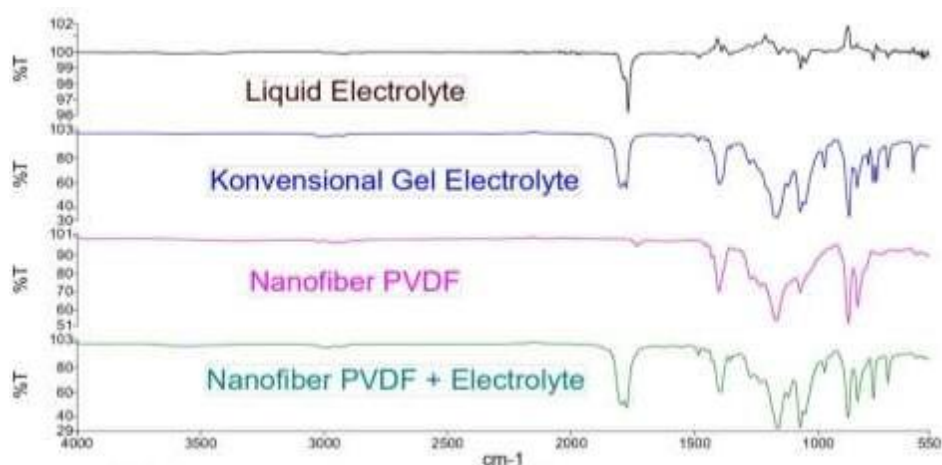
PVDF murni; campuran vibrasi *bending* CF_2 dan skeletal CCC; vibrasi *rocking* CH_2 ; vibrasi *stretching* CF_3 ; mode campuran vibrasi *rocking* CH_2 dan *stretching* asimetris CF_2 . Dari tabel diatas, diketahui bahwa antara fase kristalin (α -phase) dan fase amorf (β -phase) pada polimer PVDF dan PVDF NF terdapat pergeseran yang signifikan pada panjang gelombangnya dimana fase kristalin dari PVDF lebih tinggi dibandingkan PVDF NF yang berbanding terbalik dengan fase amorf-nya. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Mokhtari, dkk. (2015) yang mengatakan bahwa proses *elektrospinning* yang terjadi selama pembentukan struktur nanofiber dapat menurunkan orientasi preferensi rantai sehingga berdampak pada penurunan fase kristalin akan tetapi mengalami peningkatan pada fase amorfnya sehingga memungkinkan interaksi antar rantai dalam polimer dengan elektrolit menjadi lebih mudah dengan PVDF NF dibandingkan dengan polimer PVDF. Beberapa puncak yang berkaitan dengan fase amorf juga dapat diamati, sebagaimana tampak pada Gambar 5.5.



Gambar 5.4. Spektra FTIR: (a) PVDF; dan (b) PVDF NF pada rentang 450-1500 cm^{-1}

Terdapat sejumlah fakta menarik dimana hanya terdeteksi sedikit pergeseran pada posisi puncak spektra IR PVDF NF jika dibandingkan dengan puncak pada spektra PVDF murni pada rentang bilangan gelombang pengukuran. Sebagai contoh, puncak spektra FTIR PVDF murni pada $873,09 \text{ cm}^{-1}$, mengalami pergeseran ke $875,84 \text{ cm}^{-1}$ pada PVDF NF. Perbandingan spektra FTIR dari sejumlah komponen berbeda pada elektrolit DSSC, sejumlah kesimpulan penting terkait interaksi garam dengan polimer dapat diperoleh. Spektra FTIR dari (a) PVDF NF, (b) *conventional gel electrolyte*, (c) *liquid electrolyte*, dan (d) *PVDF NF membrane-based gel electrolyte* dibandingkan pada Gambar 5.5. Pita vibrasi terkait dengan fasa amorf (fasa- β) polimer terobservasi pada bilangan gelombang sekitar 838 dan 876 cm^{-1} (lihat Gambar 5.5). Namun demikian, sifat komponen *liquid electrolyte* yang dominan dan

kehadiran polimer yang sedikit dalam komposisi telah menghambat kemunculan puncak khas PVDF pada spektra *PVDF NF membrane-based gel electrolyte*. Dengan demikian, menjadi penting untuk melakukan analisa lebih lanjut terhadap puncak kecil ini untuk memahami interaksi masing-masing komponen. Lebih lanjut, tingkat kemiripan lebih tinggi terhadap sistem *liquid electrolyte* ditunjukkan oleh *conventional gel electrolyte*, sebagaimana tampak pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5. Spektra FTIR: (a) PVDF NF; (b) *conventional gel electrolyte*; (c) *liquid electrolyte*; dan (d) *PVDF NF membrane-based gel electrolyte* pada rentang 550-4000 cm^{-1}

Untuk mendapatkan pemahaman lebih baik mengenai kemungkinan interaksi polimer-garam dalam elektrolit, puncak yang berkaitan dengan fasa- β PVDF diuraikan lebih lanjut, sejak sulit menggunakan puncak lain karena puncak umum yang dihasilkan fasa solven di elektrolit. Dua puncak yang berkaitan dengan fasa amorf (fasa- β) terlihat pada 841,15 dan 873,09 cm^{-1} untuk PVDF murni dan keduanya sedikit mengalami pelebaran pada struktur NF. Karena sifat asimetris puncak di sekitar 873 cm^{-1} , puncak ini de-convolutasi/dipisahkan untuk membedakan dua puncak komponen yang terlihat pada 873,09 dan 875,84 cm^{-1} . Puncak hasil de-convolutasi tampak pada Gambar 5.7(a) dan (b). Untuk PVDF murni, satu puncak terobservasi pada 873,09 cm^{-1} , sedangkan untuk NF, muncul puncak pada 875,84 cm^{-1} . Puncak-puncak tersebut di sekitar 873,09 dan 875,84 cm^{-1} dapat dikaitkan dengan dengan vibrasi *stretching* C-F dan kombinasi vibrasi *stretching* CF_2 dan CC baik pada PVDF maupun PVDF NF. Deyin Hou *et al.* mengidentifikasi puncak di sekitar 880 cm^{-1} sebagai vibrasi *skeleton* C-C. Intensitas dari dua puncak ini telah berkurang, baik untuk *PVDF NF membrane-based gel electrolyte* maupun *conventional gel electrolyte* yang kemungkinan dikarenakan efek dilusi dari komponen cair. Dalam memperjelas interaksi polimer garam

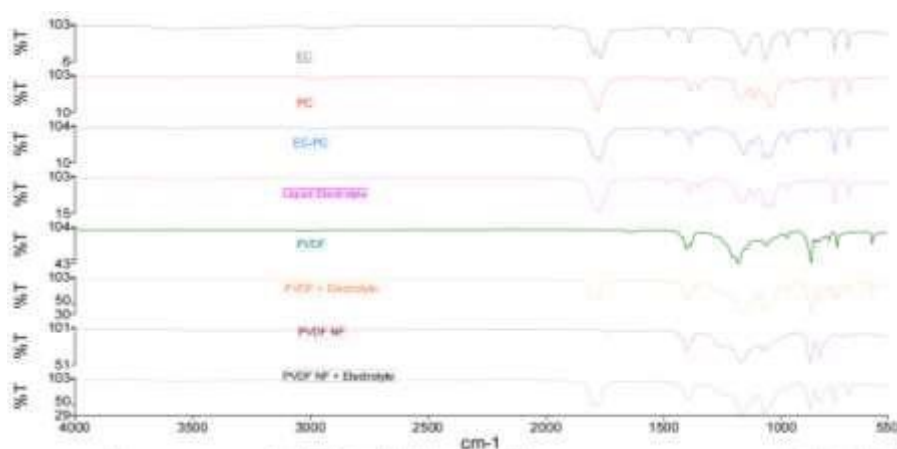
dalam elektrolit dapat dilihat hasil analisa FTIR dari fasa solven elektrolit dan variasi elektrolit pada sistem rangkaian DSSC berdasarkan tabel 5.4.

Tabel 5.4. Puncak kurva yang teramati pada spectra FTIR untuk analisa interaksi polimer garam dalam elektrolit pada rentang 600-4000 cm^{-1}

Spesifikasi Daerah Serapan	EC (cm^{-1})	PC (cm^{-1})	EC-PC (cm^{-1})	<i>Liquid Electrolyte</i> (cm^{-1})	<i>Konvensional Gel Electrolyte</i> (cm^{-1})	<i>PVDF NF membrane-based gel electrolyte</i> (cm^{-1})
Stretching C=O	1767,72	1780,89	1771,17	1771,57	1776,32	1775,26
EC (<i>Ring Breathing</i>)	894,79	-	-	861,74	840,67	839,15
EC-PC	-	-	893,48	-	-	-
K ⁺ & EC kompleks	-	-	-	895,2	873,09	876,88
C=O bending	-	-	-	714,28	716,42	716,31

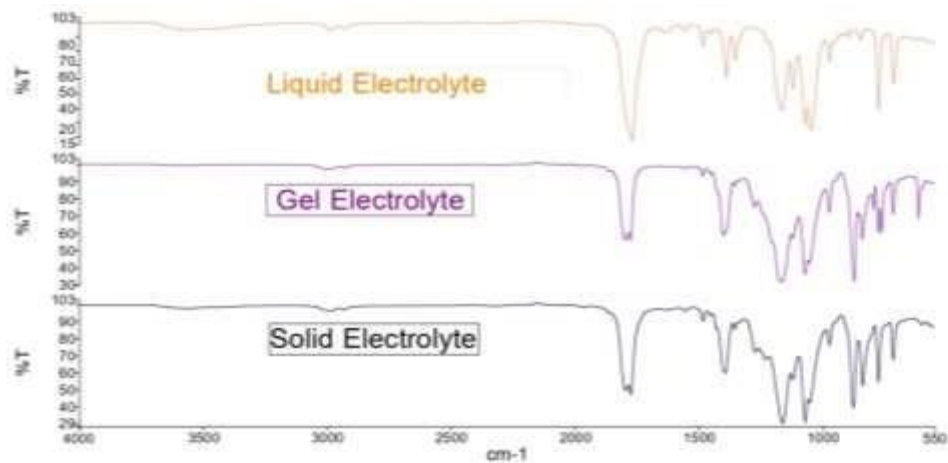
Dari tabel 5.4., dapat diketahui pengaruh jenis elektrolit yang digunakan pada sistem rangkaian DSSC terhadap interaksi garam polimer dalam elektrolit terutama interaksi K⁺ dengan EC-kompleks dan puncak *ring breathing* EC. Sebagaimana yang terlihat pada Gambar 5.6, EC juga menunjukkan puncak di sekitar 894,79 cm^{-1} dan puncak ini tidak tampak pada spektra PC, namun masih dapat terlihat pada spektra campuran EC dan PC, yaitu pada 893,48 cm^{-1} . Puncak ini dikenali sebagai *ring breathing* EC. Namun demikian, puncak *ring breathing* EC telah terpisah menjadi dua puncak pada sistem dimana garam ditambahkan. Hal ini kemungkinan karena adanya interaksi di antara ion K⁺ dan EC sebagaimana dilaporkan sebelumnya untuk sistem Li⁺:EC. Pemisahan ini juga terobservasi untuk kation alkalin di spektra Raman dari EC pada rentang frekuensi serupa. Asal mula jenis pita yang terpisah ini diyakini berasal dari pergeseran energi yang berkaitan dengan deformasi cincin (*breathing*) dari konfigurasi tidak terganggu menjadi konfigurasi yang berinteraksi dengan kation. Pemisahan tidak begitu menonjol dan terlihat pada Gambar 5.5 karena angka tersebut diskalakan untuk menggambarkan puncak dengan intensitas lebih tinggi. Pergeseran dari pita yang terpisah sebanding dengan besarnya polarisasi yang diinduksi, dan daya polarisasi K⁺ umumnya sebanding dengan densitas muatan kation. Hal inilah yang menyebabkan daya polarisasi K⁺ lebih kecil dibandingkan Li⁺. Oleh karena itu, puncak dideconvolusi menggunakan Gaussian, yang cocok untuk digunakan mengidentifikasi dua komponen yang berhubungan dengan EC dan interaksi EC-K⁺, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.8, untuk (a) *liquid electrolyte*, (b) *PVDF NF membrane-based gel electrolyte*, dan (c) *conventional gel electrolyte*. Puncak pertama pada Gambar 5.8 dapat dikaitkan dengan mode *ring breathing* EC, sedangkan puncak kedua dapat

dihubungkan dengan kompleks K^+ -EC. Posisi dan area yang berkaitan dengan kedua puncak ditampilkan pada Tabel 5.3. Sebagaimana terlihat pada Tabel, area puncak 1 terkecil dimiliki oleh elektrolit NF. Sebagai konsekuensinya, area puncak 2 yang dimilikinya menjadi jauh lebih besar dibandingkan dua jenis elektrolit lainnya. Karenanya, dapat disimpulkan bahwa ion K^+ lebih terkait dengan EC di elektrolit NF. Proses disosiasi garam lebih baik pada kondisi ini telah menghasilkan fraksi lebih besar dari ion iodida bebas yang tersedia untuk transpor muatan sehingga mampu menghasilkan *photocurrent* lebih tinggi dibandingkan cell berbasis *conventional gel electrolyte*. *Photocurrent* tertinggi terobservasi pada cell berbasis *liquid electrolyte*, yang dihasilkan dari transpor muatan yang lebih cepat karena viskositas lokal yang rendah akibat ketiadaan matriks polimer.



Gambar 5.6. Spektra FTIR: (a) PVDF; (b) PVDF NF; (c) *liquid electrolyte*; (d) *conventional gel electrolyte*; (e) campuran EC dan PC; (f) PC; (g) EC; dan (h) elektrolit PVDF NF pada rentang 400-4000 cm^{-1} . Inset: spectra FTIR solven dan elektrolit

Pita vibrasi yang berkaitan dengan fasa amorf (fasa- β) polimer terobservasi pada 840 dan 879 cm^{-1} , namun tidak begitu mencolok untuk elektrolit ini. Puncak ini kemungkinan berkaitan dengan interaksi antar-rantai dalam polimer. Di elektrolit, rantai polimer terpisah atau/dan interaksi polimer-polimer digantikan oleh interaksi polimer-solven. Oleh karena itu, puncak FTIR yang berkaitan dengan fasa amorf tidak tampak terlalu signifikan pada elektrolit ini.



Gambar 5.8. Spektra FTIR dan *Gaussian fit*: (a) *liquid electrolyte*; (b) *NF electrolyte*, dan (c) *conventional gel electrolyte* pada rentang 886-902 cm^{-1}

Tabel 5.5. Puncak kurva yang teramati pada spectra FTIR untuk PVDF murni dan PVDF NF pada rentang 858-902 cm^{-1}

Tipe Elektrolit	Puncak 1/ cm^{-1}	Puncak 2/ cm^{-1}	Area Puncak 1/a.u.	Area Puncak 2/a.u.
<i>Liquid</i>	892,3	896,3	0,11	0,22
Nano	892,0	895,5	0,05	0,21
Gel	892,3	896,0	0,09	0,20

E. Sifat Termal

Pengaplikasian DSSC yang luas menjadikan stabilitas termal sebagai penentu sifat ketahanan kimia menjadi salah satu parameter utama yang perlu diperhatikan. Analisa ketahanan termal tersebut dilakukan menggunakan instrumen *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Kurva DSC dari EC, PC, pellet PVDF, PVDF NF dan gel PVDF pada rentang temperature $-60 - 170\text{ }^{\circ}\text{C}$ tampak pada Gambar 5.9. PVDF NF dan PVDF murni menunjukkan puncak leleh lebih lebar dibandingkan elektrolit gel PVDF. Temperatur transisi PVDF murni yang sebelumnya dilaporkan pada $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ [28], di penelitian ini terobservasi pada $-34,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (inset pada Gambar 5.9). Puncak endotermik luas yang terobservasi pada $130-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang berkaitan dengan pelelehan komponen polimer dari elektrolit juga terobservasi pada PVDF murni, sebagaimana dilaporkan peneliti lainnya [28-29]. Pada penelitian ini PVDF murni menunjukkan puncak leleh pada $145,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, sementara PVDF NF memiliki transisi leleh pada $141,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatur leleh dari polimer NF menjadi lebih rendah karena efek ukuran nano. Namun demikian, puncak leleh elektrolit gel PVDF relatif sempit dan tampak pada $145,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pada penelitian ini, dilakukan variasi elektrolit yang digunakan dalam

sistem DSSC yaitu elektrolit cair, *solid* elektrolit (elektrolit cair yang diperangkap dalam PVDF NF), dan *convemsional gel* elektrolit (elektrolit cair yang diperangkap dalam PVDF). Dari pengukuran stabilitas termal ditunjukkan salah satu komponen penyusun elektrolit yaitu etilen karbonat (EC) memiliki titik leleh rendah. Hal tersebut dapat disebabkan tingginya penguapan pelarut dalam sistem elektrolit sehingga mampu memicu umur simpan DSSC yang pendek terutama pada elektrolit cair dibandingkan dengan *solid* elektrolit dan *convemsional gel* elektrolit. Efektivitas kedua jenis membran dalam memperpanjang umur tersebut terlihat dari ketahanan termalnya mampu mencapai diatas 100°C. Tidak ada satupun elektrolit menunjukkan transisi termal signifikan pada rentang temperatur 0-100 °C. Berdasarkan hal tersebut, dapat dikatakan bahwa elektrolit memiliki stabilitas termal pada rentang temperatur dimana solar cell umumnya dioperasikan.

Tabel. 5.6. Entalpi leleh PVDF murni dan PVDF NF

Tipe Elektrolit	Area Puncak/mJ	Berat/mg	$\Delta H_m/Jg^{-1}$	Kristalinitas Relatif/%
PVDF murni	48,17	18,08	2,66	2,54
PVDF NF	24,00	10,52	2,28	2,17

Entalpi leleh sampel PVDF murni dan PVDF NF yang ditampilkan pada Tabel 5.4 dihitung menggunakan area puncak dalam rangka untuk mengestimasi kristalinitas relatif. Entalpi PVDF murni dan PVDF NF, masing-masing adalah sebesar 2,66 dan 2,28 Jg⁻¹. Dengan demikian, PVDF NF terobservasi mengalami penurunan kristalinitas sebesar 14,3% dibandingkan PVDF murni. Entalpi leleh dari PVDF 100% kristalin dapat diasumsikan sebesar 104,7 Jg⁻¹ [11]. Kristalinitas relatif sampel PVDF murni dan PVDF NF yang dihitung pada riset ini ditabulasikan pada Tabel 5.4.

BAB VI

RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

Hingga bulan ke-8, pelaksanaan penelitian **Standarisasi DSSC Berbasis SPE PVDF/PVDF-HFP dan Fotosensitizer *Curcuma longa* sebagai Penggerak Sistem Desinfeksi Otomatis *Hand Sanitizer* Berbasis Bioetanol** telah dapat diselesaikan hingga 100%. Tahapan kegiatan yang telah selesai dilaksanakan adalah meliputi (a) penyusunan DSSC berbasis *liquid electrolyte*; (b) analisis DSSC berbasis *liquid electrolyte*; (c) penyusunan DSSC berbasis *PVDF NF membrane-based gel electrolyte*; (d) analisis DSSC berbasis *PVDF NF membrane-based gel electrolyte*; (e) penyusunan DSSC berbasis *conventional gel electrolyte*; dan (f) analisis DSSC berbasis *conventional gel electrolyte*. Rencana tahapan berikutnya adalah Demonstrasi Prototipe DSSC Berbasis *PVDF NF membrane-based gel electrolyte* & Fotosensitizer *Curcuma longa* di Lingkungan Operasional.

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Pada penelitian ini, telah sukses difabrikasi membran NF berbasis polimer PVDF menggunakan teknik *electro-spinning*. Gambar SEM menunjukkan pembentukan membran yang meliputi jaringan tiga dimensi dari polimer NF dengan ketebalan membran rata-rata 14 μm dan kandungan nanofiber dengan diameter pada rentang 100-300 nm. Tiga jenis elektrolit yang dipreparasi, (a) *liquid electrolyte* dengan KI yang terlarut dalam PC, (b) *polymer NF gel electrolyte* yang didapatkan melalui perendaman membran NF dalam *liquid electrolyte* dan (c) *conventional gel electrolyte* yang didapatkan dari pencampuran polimer secara langsung ke dalam *liquid electrolyte*. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) difabrikasi menggunakan ketiga elektrolit ini. Elektrolit dikarakterisasi dengan FTIR dan DSC, sementara DSSC yang difabrikasi dengan ketiga elektrolit ini dikarakterisasi dengan *J-V* dan pengukuran EIS. Kinerja ketiganya kemudian dibandingkan.

Interaksi di antara kation (K^+) dengan EC di dalam elektrolit dibandingkan untuk ketiga elektrolit menggunakan FTIR. Spektra FTIR yang dihasilkan menunjukkan hasil yang kompatibel dengan prevalensi kecil pelarut untuk elektrolit NF. Pergeseran pada pita kombinasi polimer di 876 cm^{-1} juga kompatibel dengan penurunan interaksi antar-rantai polimer pada elektrolit NF. Termogram DSC menunjukkan bahwa temperature transisi gelas polimer PVDF murni terlihat pada $-34,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Puncak endotermik luas pada $130\text{-}150\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang berkaitan dengan pelelehan polimer di dalam elektrolit juga teramati pada PVDF murni, sebagaimana yang telah dilaporkan oleh kelompok riset lain. Termogram DSC juga menunjukkan bahwa kristalinitas sampel PVDF NF 1,69% lebih rendah dibandingkan polimer PVDF murni. PVDF murni memiliki puncak leleh pada $145,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, sedangkan PVDF NF menunjukkan transisi leleh pada $141,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Penurunan temperature leleh dari sampel NF sangat jelas disebabkan oleh pengaruh ukuran nano. Sementara itu, kemunculan puncak leleh yang lebih sempit dari elektrolit gel PVDF pada $146,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ adalah karena adanya pembentukan kompleks polimer-solven. Ketiga jenis elektrolit tidak menunjukkan adanya transisi termal signifikan pada rentang temperature dimana solar cell umum dioperasikan.

DSSC yang difabrikasi dengan *NF gel electrolyte* menawarkan efisiensi konversi energi sebesar 1,23% dan mampu menghasilkan nilai V_{oc} dan J_{sc} yang sebanding dengan *liquid electrolyte* pada standar *AM 1,5 solar irradiation*. Nilai V_{oc} , J_{sc} dan efisiensi solar cell berbasis *NF gel electrolyte* lebih tinggi dibandingkan dengan cell berbasis *conventional gel*

electrolyte. Hal ini menggambarkan besarnya kemungkinan penggunaan membran NF *electro-spun* untuk menjebak *liquid electrolyte* dan untuk membentuk kondisi gel yang mampu meminimalisasi sejumlah kelemahan yang berkaitan dengan solar cell berbasis *liquid electrolyte* sekaligus meningkatkan stabilitas jangka panjangnya. Pengembangan lebih lanjut dari perakitan dan fabrikasi cell berbasis *quasi solid state* ini akan membantu untuk meningkatkan kinerja *photovoltaic* secara signifikan.

B. Saran

Berdasarkan hambatan-hambatan yang dijumpai selama penelitian, dapat dirumuskan beberapa saran yang meliputi: (1) Untuk mengupayakan peningkatan kuantitas panen cahaya dan efisiensi dari DSSC diperlukan penyusunan rangkaian dengan kombinasi berbagai pewarna alam; (2) Perlu dilakukan optimasi waktu perendaman foto-anoda TiO_2 dalam *dye sensitized* untuk mendapatkan kuantitas panen cahaya dan efisiensi yang maksimum; (3) Perlu dilakukan optimasi penyusunan rangkaian DSSC secara seri maupun paralel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O'regan, B., Gratzel, M. 1991. A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films. *Nature*. 353 (6346) : pp. 737.
- [2] Kumar, S., Manikandan, V.S., Palai, A.K., Mohanty, S., Nayak, S.K. 2019. Fe₂O₃ as an efficient filler in PVDF-HFP based polymeric electrolyte for dye sensitized solar cell application. *Solid State Ionics*. 332 : pp. 10-15.
- [3] Kim, M.R., Park, S.H., Kim, J.U., Lee. 2011. Dye-sensitized solar cells based on polymer electrolytes. *Solar cells-dye-sensitized decives, Intech*.
- [4] Bandara, T.M.W.J., Weerasinghe, A.M.J.S., Dissanayake, M.A.K.L., Senadeera, G.K.R., Furlani, M., Albinsson, I., Mellander, B.-E. 2018. Characterization of poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene) (PVdF-HFP) nanofiber membrane based quasi solid electrolytes and their application in a dye sensitized solar cell. *Electrochimica Acta*. 266 : pp. 276-283.
- [5] Dissanayake, M.A.K.L., Divarathne, H.K.D.W.M.N.R., Thotawatthage, C.A., Dissanayake, C.B., Senadeera, G.K.R., Bandara, B.M.R. 2014. Dye-sensitized solar cells based on electrospun polyacrylonitrile (PAN) nanofibre membrane gel electrolyte. *Electrochim. Acta*. 130 : pp. 76-81.
- [6] Luo, J., Wu, H., He, C., Li, A., Yang, W., Cao, Y. 2009. Enhanced open-circuit voltage in polymer solar cells. *Appl. Phys. Lett.* 95 (043301).
- [7] Wang, P., Zakeeruddin, S.M., Moser, J.E., Nazeeruddin, M.K., Sekiguchi, T., Gratzel, M., 2003. A stable quasi-solid-state dye-sensitized solar cell with an amphiphilic ruthenium sensitizer and polymer gel electrolyte. *Nature Materials*. 2 : pp. 402-407.
- [8] Bella, F., Gerbaldi, C., Barolo, C., Gratzel, M. 2015. Aqueous dye-sensitized solar cells. *Chem. Soc. Rev.* 44 (11) : pp. 3431-3473.
- [9] Ko, F.K., Wan, Y. 2014. *Introduction to Nanofiber Materials*. Cambridge University Press. Cambridge.
- [10] Sun, H., Deng, J., Qiu, L., Fang, X., Peng, H. 2015. Recent progress in solar cells based on one-dimensional nanomaterials. *Energy Environ. Sci.* 8 (4) : pp. 1139-1159.
- [11] Dissanayake, S.S., Dissanayake, M.A.K.L., Seneviratne, V.A., Senadeera, G.K.R., Thotawatthage, C.A. 2016. Performance of dye sensitized solar cells fabricated with electrospun polymer nanofiber based electrolyte. *Mater. Today Proc.* 3S : pp. S104-S111.
- [12] Song, J.Y., Wang, H. 1999. Review on gel electrolytes. *J. Power Sources*. 77 : pp. 135–146.
- [13] Huang, K.-C., Chen, P.-Y., Vittal, R., Ho, K.-C. 2011. Enhanced performance of a quasi-solidstate dye-sensitized solar cell with aluminum nitride in its gel polymer electrolyte. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*. 95 : pp. 1990–1995.
- [14] Chou, H.-T., Hsu, H.-C., Lien, C.-H., Chen, S.-T. 2015. The effect of various concentrations of PVDF-HFP polymer gel electrolyte for dye-sensitized solar cell. *Microelectronics Reliability*. 55 : pp. 2174-2177.
- [15] Abbrent, S., Plestil, J., Hlavata, D., Lindgren, J., Tegenfeldt, J., Wendsjo, A. 2001. Crystallinity and morphology of PVDFeHFP-based gel electrolytes. *Polymer* 42 : pp. 1407-1416.
- [16] Wu, N., Cao, Q., Wang, X.Y., Li, X.Y., Deng, H.Y. 2011. A novel high-performance gel polymer electrolyte membrane basing on electrospinning technique for lithium rechargeable batteries. *J. Power Sources*. 196 : pp. 8638-8643.

- [17] Kim, K., Yoo, M., Ahn, K., Kim, J. 2015. Thermal and mechanical properties of AlN/BN-filled PVDF composite for solar cell backsheet application. *Ceramics International*. 41(1) part A : pp. 179-187.
- [18] Schiermeier, Q., Tollefson, J., Scully, T., Witze, A., Morton, O. 2008. Energy alternatives : Electricity without carbon. *Nature*. 454 : pp. 816–823.
- [19] Senthil, R.A., Theerthagiri, J., Madhavan, J., Ganesan, S., Arof, A.K. 2017. Influence of organic additive to PVDF-HFP mixed iodide electrolytes on the photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 101 : pp. 18-24.
- [20] Senthil, R.A., Theerthagiri, J., Madhavan, J., Arof, A.K. 2016. Performance characteristics of guanine incorporated PVDF-HFP/PEO polymer blend electrolytes with binary iodide salts for dye-sensitized solar cells. *Optical Materials*. 58 : pp. 357-364.
- [21] Senthil, R.A., Theerthagiri, J., Madhavan, J. 2014. Optimization of performance characteristics of 2-mercaptopyridine-doped polyvinylidene fluoride (PVDF) polymer electrolytes for dye-sensitized solar cells. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 406 : pp. 133-138.
- [22] Yella, A., Lee, H.-W., Tsao, H.N., Yi, C., Chandiran, A.K., Nazeeruddin, K., Diau, E.W.-G., Yeh, C.-Y., Zakeeruddin, S.M., Gratzel, M. Porphyrin-sensitized solar cells with cobalt (II/III)– based redox electrolyte exceed 12 percent efficiency. *Science*. 334 : pp. 629–634.
- [23] Hou, S., Cai, X., Wu, H., Lv, Z., Wang, D., Yongping, F., Zou, D. 2012. Flexible, metal-free composite counter electrodes for efficient fiber-shaped dye-sensitized solar cells. *J. Power Sources*. 215 : pp. 164–169.
- [24] Yu, Z., Vlachopoulos, N., Gorlov, M., Kloo, L. 2011. Liquid electrolytes for dye-sensitized solar cells. *Dalton Trans.* 40 : pp. 10289-10303.
- [25] Wu, J., Lan, Z., Hao, S., Li, P., Lin, J., Huang, M., Fang, L., Huang, Y. 2008. Progress on the electrolytes for dye-sensitized solar cells. *Pure Appl. Chem.* 80 : pp. 2241-2258.
- [26] Chiba, Y., Islam, A., Watanabe, Y., Komiya, R., Koide, N., Han, L. 2006. Dye-Sensitized Solar Cells with Conversion Efficiency of 11.1%. *Jpn. J. Appl. Phys.* 45 : pp. L638-L640.
- [27] Chem, C.Y., Wang, M., Li, J.Y., Pootrakulchote, N., Alibabaei, L., Ngoc-le, C., Decoppet, J.D., Tsai, J.H., Gratzel, C., Wu, C.G., Zakeeruddin, S.M., Gratzel, M. 2009. Highly efficient light-harvesting ruthenium sensitizer for thin-film dye-sensitized solar cells. *ACS Nano*. 3 : pp. 3103-3109.
- [28] Mathew, S., Yella, A., Gao, P., Baker, R.H., Curchod, B.F.E., Astani, N.A., Tavernelli, I., Rothlisberger, U., Nazeeruddin, M.K., Gratzel, 2014. Dye-sensitized solar cells with 13% efficiency achieved through the molecular engineering of porphyrin sensitizers. *Nat. Chem.* 6, 242–247.
- [29] Prabakaran, K., Jandas, P.J., Mohanty, S., Nayak, S.K., 2018. Synthesis, characterization of reduced graphene oxide nanosheets and its reinforcement effect on polymer electrolyte for dye sensitized solar cell applications. *Solar Energy*. 170 : pp. 442-453.
- [30] Ramesh, S., Lu, S.C., Vankelecom, I. 2013. BMIMTf Ionic Liquid-Assisted Ionic Dissociation Of MgTf In P(VdfHFP)-Based Solid Polymer Electrolytes. *J. Phys. Chem. Solids*. 74 : pp. 1380–1386.
- [31] Murakoshi, K., Kogure, R., Wada, Y., Yanagida, S. 1997. Solid state dye-sensitized TiO₂ solar cell with polypyrrole as hole transport layer. *Chem. Lett.* 26 : pp. 471–472.
- [32] Xia, J., Masaki, N., Lira-Cantu, M., Kim, Y., Jiang, K., Yanagida, S. 2008. Influence of doped anions on poly(3,4-ethylenedioxythiophene) as hole conductors for iodine-free solid-state dye-sensitized solar cells. *J. Am. Chem. Soc.* 130 : pp. 1258–1263.

- [33] Bandara, T.M.W.J., Dissanayake, M.A.K.L., Albinsson, I., Mellander, B.E. 2010. Dye-sensitized, nano-porous TiO₂ solar cell with poly (acrylonitrile): MgI₂ plasticized electrolyte. *J. Power Sour.* 195 : pp. 3730–3734.
- [34] Mahmood, A. 2015. Recent research progress on quasi-solid-state electrolytes for dye-sensitized solar cells. *J. Energy Chem.* 24 : pp. 686–692.
- [35] Suait, M.S., Rahman, M.Y.A., Ahmad, A. 2015. Review on polymer electrolyte in dye-sensitized solar cells (DSSCs). *Sol. Energy.* 115 : pp. 452–470.
- [36] Cui, Y., Zhang, X., Feng, J., Zhang, J., Zhu, Y. 2013. Enhanced photovoltaic performance of quasi-solid-state dye-sensitized solar cells by incorporating a quaternized ammonium salt into poly(ethylene oxide)/poly(vinylidene fluoride-hexafluoropropylene) composite polymer electrolyte. *Electrochim. Acta.* 108 : pp. 757.
- [37] Kim, Y.W., Lee, D.K., Lee, K.J., Kim, J.H. 2008. Single-step synthesis of proton conducting poly (vinylidene fluoride)(PVDF) graft copolymer electrolytes. *Eur. Polym. J.* 44 : pp. 932.
- [38] Lee, H.C., Akhtar, M.S., Park, J.G., Kim, K.J., Lee, S.K., Yang, O.B. 2010. Carbon Nanotube (CNT)–polymethyl methacrylate (PMMA) composite electrolyte for solid-state dye sensitized solar cells. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 10 : pp. 3502.
- [39] Gong, J., Sumathy, K., Liang, J. 2012. Polymer electrolyte based on polyethylene glycol for quasi-solid state dye sensitized solar cells. *Renew. Energy.* 39 : pp. 419.
- [40] Chen, C.L., Teng, H., Lee, Y.L. 2011. Preparation of highly efficient gel-state dye-sensitized solar cells using polymer gel electrolytes based on poly (acrylonitrile-co-vinyl acetate). *J. Mater. Chem.* 21 : pp. 628.
- [41] Mohamed, N.S., Arof, A.K. 2004. Investigation of electrical and electrochemical properties of PVDF-based polymer electrolytes. *J. Power Sources.* 132 : pp. 229.
- [42] Shen, Y.J., Reddy, M.J., Chu, P.P. 2004. Porous PVDF with LiClO₄ complex as 'solid'and 'wet'polymer electrolyte, *Solid State Ionics.* 175 : pp. 747.
- [43] Anandan, S., Pitchumani, S., Muthuraaman, B., Maruthamuthu, P. 2006. Heteropolyacid-impregnated PVDF as a solid polymer electrolyte for dye-sensitized solar cells. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells.* 90 : pp. 1715.
- [44] Cahyaningrum, R.D.C., Kusumawati, N. 2016. Development and Characterization of Polysulfone/Polyvinylidene Fluoride Blend Membrane Induced by Delayed Liquid-Liquid Demixing. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology.* 6 (5) : pp. 716-722.
- [45] Kusumawati, N., Koestiari, T., Muslim, S. 2016. The Development of a New Polymer Membrane : PSf/PVDF blended Membrane. *Research Journal of Pharmaceutical, Biologica, and Chemical Sciences.* 7(4) : pp. 69-77.
- [46] Maharani, K.D.A., Kusumawati, N. 2016. The Effect of Casting Solution and Non Solvent Composition on the Performance of Polysulfone Membranes against Chromium (VI). *Research Journal of Pharmaceutical, Biologica, and Chemical Sciences.* 7(2) : pp. 495-504.
- [47] Kusumawati, N., Setiarso, P., Muslim, S., Purwidiani, N. 2018. Synergistic ability of PSf PVDF to develop hig-performance PSf/PVDF coated membrane for water treatment. *RASAYAN J. Chem.* 11(1) : pp. 260-279.
- [48] Kusumawati, N., Setiarso, P., Muslim, S. 2018. Polysulfone/Polyvinylidene fluoride composite membrane : effect of coating dope composition on membrane characteristics and performance. *RASAYAN J. Chem.* 11(3) : pp. 1034-1041.
- [49] Kusumawati, N., Setiarso, P., Sianita, M.M., Muslim, S. 2018. Transport Properties, Mechanical Behavior, Thermal and Chemical Resistance of Asymmetric Flat Sheet Membrane Prepared from PSf/PVDF Blended Membrane on Gauze Supporting Layer. *Indonesian Journal of Chemistry.* 18(02) : pp. 257-264.

- [50] Ganesan, S., Mathew, V., Paul, B.J., Maruthamuthu, P., Suthanthiraraj, S.A. 2013. Influence of organic nitrogenous compounds phenothiazine and diphenyl amine in poly(vinylidene fluoride) blended with poly(ethylene oxide) polymer electrolyte in dye-sensitized solar cells. *Electrochim. Acta.* 102 : pp. 219-224.
- [51] Yang, Y., Zhang, J., Zhou, C., Wu, S., Xu, S., Liu, W., Han, H., Chen, B., Zhao, X.Z. 2008. Effect of lithium iodide addition on poly (ethylene oxide)– poly (vinylidene fluoride) polymer-blend electrolyte for dye-sensitized nanocrystalline solar cell. *J. Phys. Chem. B.* 112 : pp. 6594.
- [52] Kim, J.H., Jung, H.S., Park, C.H., Kang, T.J. 2014. Porous PVdF-HFP/P123 electrolyte membrane containing flexible quasi-solid-state dye-sensitized solar cells produced by the compression method. *J. Phys. Chem. Solids.* 75 : pp. 31–37.
- [53] Chou, H.-T., Hsu, H.-C., Lien, C.-H., Chen, S.-T., 2015. The effect of various concentration of PVDF-HFP polymer gel electrolyte for dye-sensitized solar cell. *Microelectronics Reliability.* 55 : pp. 2174-2177.
- [54] Priya, A.R.S., Subramania, A., Jung, Y.-S., Kim, K.-J. 2008. High-performance quasisolid-state dye-sensitized solar cell based on an electrospun PVdF-HFP membrane electrolyte. *Langmuir.* 24 : pp. 9816–9819.
- [55] Calogero, G., Sinopoli, A., Citro, I., Marco, G.D., Petrov, V., Diniz, A.M., Parola, A.J., Pina, F. 2013. Synthetic analogues of anthocyanins as sensitizers for dye-sensitized solar cells. *Photochem. Photobiol. Sci.* 12 : pp. 883–894
- [56] Rajan, A.K., Cindrella, L. 2019. Studies on new natural dye sensitized from *Indigofera tinctoria* in dye-sensitized solar cells. *Optical Materials.* 88 : pp. 39-47.
- [57] Calogero, G., Marco, G.D., Cazzanti, S., Caramori, S., Argazzi, R., Carlo, A.D., Bignozzi, C.A. 2010. Efficient dye-sensitized solar cells using red turnip and purple wild sicilian prickly pear fruits. *Int. J. Mol. Sci.* 11 : pp. 254–267.
- [58] Ito, S., Saitou, T., Imahori, H., Uehara, H., Hasegawa, N. 2010. Fabrication of dye-sensitized solar cells using natural dye for food pigment: Monascus yellow. *Energy Environ. Sci.* 3 : pp. 905–909.
- [59] Maiaugree, W., Lowpa, S., Towannang, M., Rutphonsan, P., Tangtrakarn, A., Pimanpang, S., Maiaugree, P., Ratchapolthavisin, N., Sang-Aroon, W., Jareenboon, W. A dye sensitized solar cell using natural counter electrode and natural dye derived from mangosteen peel waste. *Sci. Rep.* 5 (15230).
- [60] Cherepy, N.J., Smestad, G.P., Gratzel, M., Zhang, J.Z. 1997. Ultrafast Electron Injection: Implications for a Photoelectrochemical Cell Utilizing an Anthocyanin Dye-Sensitized TiO₂ Nanocrystalline Electrode. *J. Phys. Chem. B.* 101 : pp. 9342–9351.
- [61] Polo, A.S., Iha, N.Y.M. 2006. Blue sensitizers for solar cells: natural dyes from Calafate and Jaboticaba. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells.* 90 : pp. 1936–1944
- [62] Lai, W.H., Su, Y.H., Teoh, L.G., Hon, M.H. 2008. Commercial and natural dyes as photosensitizers for a water-based dye-sensitized solar cell loaded with gold nanoparticles. *J. Photochem. Photobiol A : Chemistry.* 195 : pp. 307–313.
- [63] Noor, M., Buraidah, M., Careem, M., Majid, S., Arof, A. 2014. An optimized poly (vinylidene fluoride-hexafluoropropylene)–NaI gel polymer electrolyte and its application in natural dye sensitized solar cells. *Electrochim. Acta.* 121 : pp. 159–167.
- [64] K. Tennakone, G. Kumara, K. Wijayantha, I. Kottegoda, V. Perera, G. Aponsu, 1998. Nano-porous solid-state photovoltaic cell sensitized with tannin. *Semicond. Sci. Technol.* 13 : pp. 134.
- [65] Yamazaki, E., Murayama, M., Nishikawa, N., Hashimoto, N., Shoyama, M., Kurita, O. 2007. Utilization of natural carotenoids as photosensitizers for dye-sensitized solar cells. *Sol. Energy.* 81 : pp. 512–516.

- [66] Zhang, D., Lanier, S.M., Downing, J.A., Avent, J.L., Lum, J., McHale, J.L. 2008. Betalain pigments for dye-sensitized solar cells. *J. Photochem. Photobiol A : Chemistry*. 195 : pp. 72–80.
- [67] Agarkar, S.A., Kulkarni, R.R., Dhas, V.V., Chinchansure, A.A., Hazra, P., Joshi, S.P., Ogale, S.B. 2011. Isobutrin from *Butea Monosperma* (Flame of the Forest): A Promising New Natural Sensitizer Belonging to Chalcone Class. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 3 : pp. 2440–2444.
- [68] Salisbury, F.B., Ross, C.W. 1991. *Plant Physiology*, 4th ed. Wadsworth Publishing. Belmont, California. 4 : pp. 325–326 ISBN 0-534-15162-0.
- [69] Sinha, D., De, D., Ayaz, A. 2018. Performance and stability analysis of curcumin dye as a photo sensitizer used in nanostructured ZnO based DSSC. *Spectrochimica Acta Part A : Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 193 : pp. 467-474.
- [70] Syafinara, R., Gomesha, N., Irwantoa, M., Fareqa, M., Irwan, Y.M. 2015. Potential of purple cabbage, coffee, blueberry and turmeric as nature based dyes for dye sensitized solar cell (DSSC). *Energy Procedia*. 79 : pp. 799–807.
- [71] Suresh, S., Kandasamy, M., Kumar, S.K., Murugesan, S. 2015. Photovoltaic performance of curcumin as sensitizer in asolid-state solar cell. *Optik Elsevier*. 126 : pp. 3366–3370.
- [72] Sengupta, D., Mondal, B., Mukherjee, K. 2015. Visible light absorption and photo-sensitizing properties of spinach leaves and beetroot extracted natural dyes. *Spectrochim. Acta*. 148 : pp. 85–92.
- [73] Ruhanea, T.A., Islam, M.T., Rahaman, Md.S., Bhuiyan, M.M.H., Islam, J.M.M., Bhuiyan, T.I., Khan, K.A., Khan, M.A. 2017. Impact of photo electrode thickness and annealing temperature on natural dye sensitized solar cell, Sustainable Energy Technologies and Assessments. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 20 : pp. 72–77.

LAMPIRAN 1

Parameter *photovoltaic* DSSC berbasis *liquid electrolyte*, *polymer nanofiber quasi-solid state electrolyte* dan *conventional gel electrolyte* dengan berbagai variasi pada komposisi, rentang panjang gelombang, dan waktu *aging*

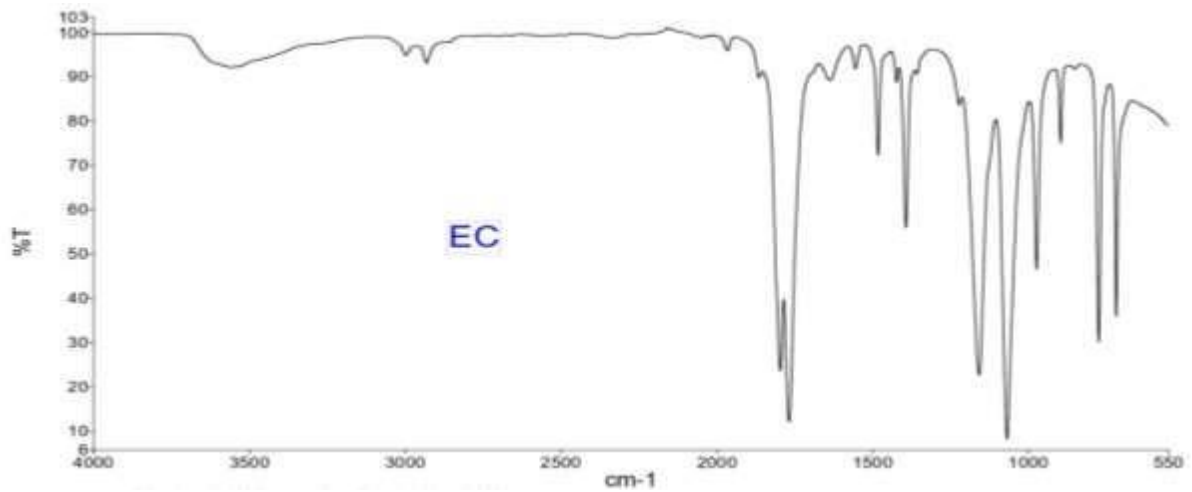
Material	Variasi	Tanpa Hambatan			Hambatan			Jsc (mA/cm ²)	Voc (mV)	FF (%)	Intensitas (mW/cm ²)	Pmax	Efisiensi (%)
		V (mV)	I (mA)	A (cm ²)	V (mV)	I (mA)	A (cm ²)						
L/M/II	Liquid Elektrolit	282	0,0107	3	180	0,0062	3	0,003566667	282	0,369854842	100	1,116	1,01
	Solid Elektrolit	222	0,0086	3	172	0,004	3	0,002866667	222	0,36036036	100	0,688	0,64
	Gel Elektrolit	209	0,007	3	157	0,0033	3	0,002333333	209	0,354135338	100	0,5181	0,49
S/E/I	Liquid Elektrolit	434	0,0108	3	175	0,0052	3	0,0036	434	0,194145759	100	0,91	1,56
	Solid Elektrolit	416	0,0097	3	172	0,004	3	0,003233333	416	0,170499603	100	0,688	1,35
	Gel Elektrolit	363	0,0085	3	133	0,0031	3	0,002833333	363	0,13362502	100	0,4123	1,03
L/E/I	Liquid Elektrolit	334	0,0106	3	231	0,0043	3	0,003533333	334	0,280561518	100	0,9933	1,18
	Solid Elektrolit	335	0,0097	3	211	0,0038	3	0,003233333	335	0,246745653	100	0,8018	1,08
	Gel Elektrolit	268	0,0078	3	201	0,0036	3	0,0026	268	0,346153846	100	0,7236	0,7
k/A/II	Liquid Elektrolit	344	0,0106	3	182	0,0047	3	0,003533333	344	0,234587538	100	0,8554	1,21
	Solid Elektrolit	340	0,007	3	173	0,0038	3	0,002333333	340	0,276218487	100	0,6574	0,79
	Gel Elektrolit	321	0,0042	3	156	0,0035	3	0,0014	321	0,404984424	100	0,546	0,45
k/M/II	Liquid Elektrolit	401	0,0099	3	291	0,005	3	0,0033	401	0,366507972	100	1,455	1,32
	Solid Elektrolit	393	0,0098	3	264	0,0043	3	0,003266667	393	0,294749961	100	1,1352	1,28
	Gel Elektrolit	354	0,0065	3	257	0,0042	3	0,002166667	354	0,469100391	100	1,0794	0,77
T/A/I	Liquid Elektrolit	475	0,0107	3	192	0,0067	3	0,003566667	475	0,253103788	100	1,2864	1,69
	Solid Elektrolit	463	0,0103	3	175	0,0058	3	0,003433333	463	0,212837342	100	1,015	1,6
	Gel Elektrolit	424	0,0087	3	166	0,0053	3	0,0029	424	0,238505747	100	0,8798	1,23
T/M/I	Liquid Elektrolit	416	0,0098	3	222	0,0078	3	0,003266667	416	0,424744898	100	1,7316	1,36
	Solid Elektrolit	389	0,0093	3	203	0,0068	3	0,0031	389	0,3815684	100	1,3804	1,21
	Gel Elektrolit	383	0,0083	3	186	0,0056	3	0,002766667	383	0,327660511	100	1,0416	1,06
Py/E/I	Liquid Elektrolit	434	0,009	3	230	0,0072	3	0,003	434	0,423963134	100	1,656	1,31

	Solid Elektrolit	393	0,0082	3	215	0,0066	3	0,002733333	393	0,440327686	100	1,419	1,07
	Gel Elektrolit	349	0,0062	3	200	0,0057	3	0,002066667	349	0,52685091	100	1,14	0,72
P/M/I	Liquid Elektrolit	390	0,0091	3	205	0,007	3	0,003033333	390	0,40433925	100	1,435	1,18
	Solid Elektrolit	327	0,0086	3	199	0,0064	3	0,002866667	327	0,452883863	100	1,2736	0,93
	Gel Elektrolit	308	0,0082	3	190	0,0056	3	0,002733333	308	0,421286031	100	1,064	0,84
SMd/A/I	Liquid Elektrolit	401	0,0094	3	266	0,009	3	0,003133333	401	0,635114342	100	2,394	1,26
	Solid Elektrolit	391	0,009	3	254	0,0079	3	0,003	391	0,570218812	100	2,0066	1,17
	Gel Elektrolit	357	0,008	3	221	0,0063	3	0,002666667	357	0,4875	100	1,3923	0,95

LAMPIRAN 2

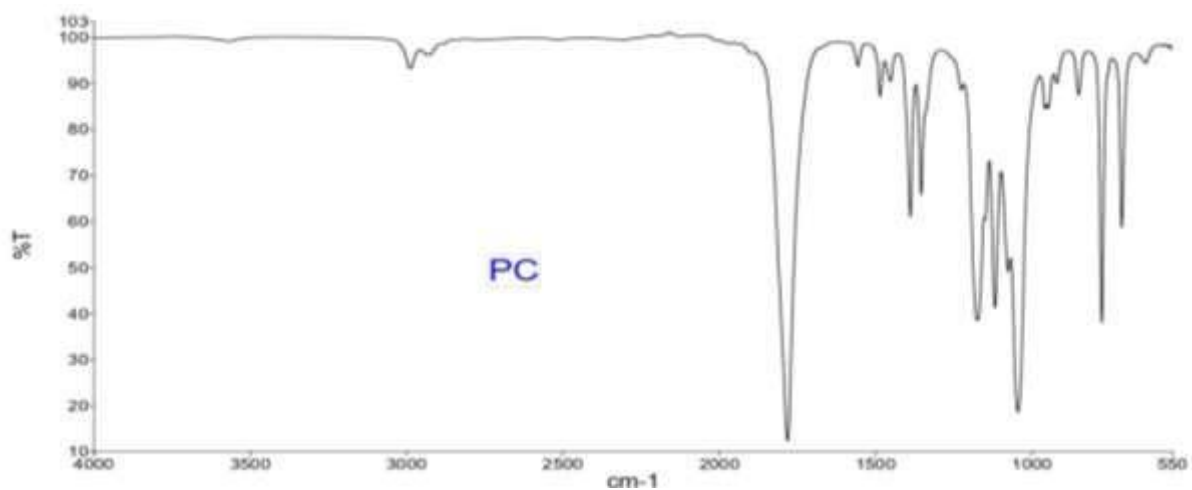
Hasil Analisa *Fourier Transform Infra-red* (FTIR)

A. Ethylene Carbonat (EC)



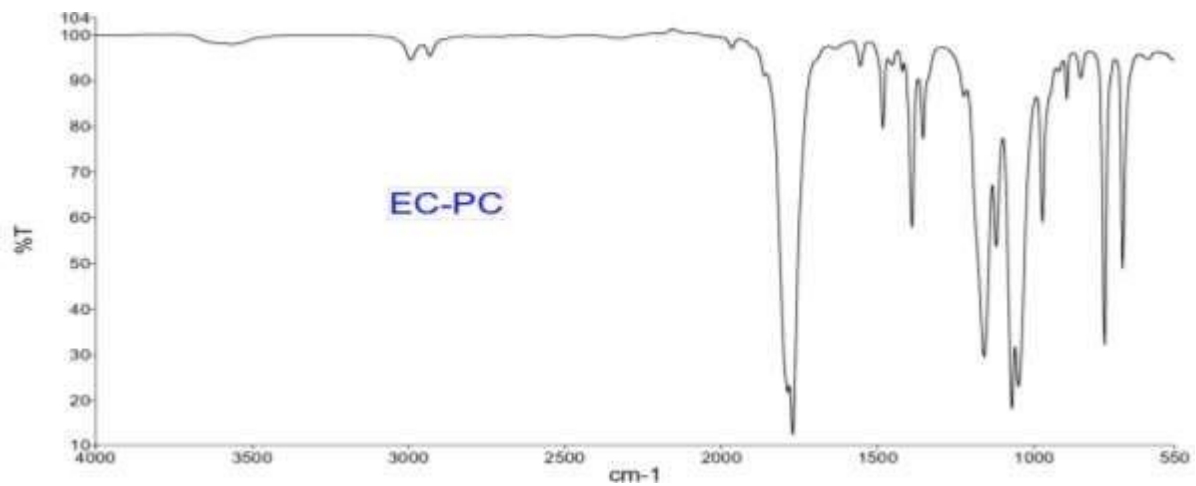
Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Interpretasi
894,79	EC
1767,72	Gugus C=O dari etilen Carbonat da Propilen Karbonat dari EC

B. Propylene Carbonat (PC)



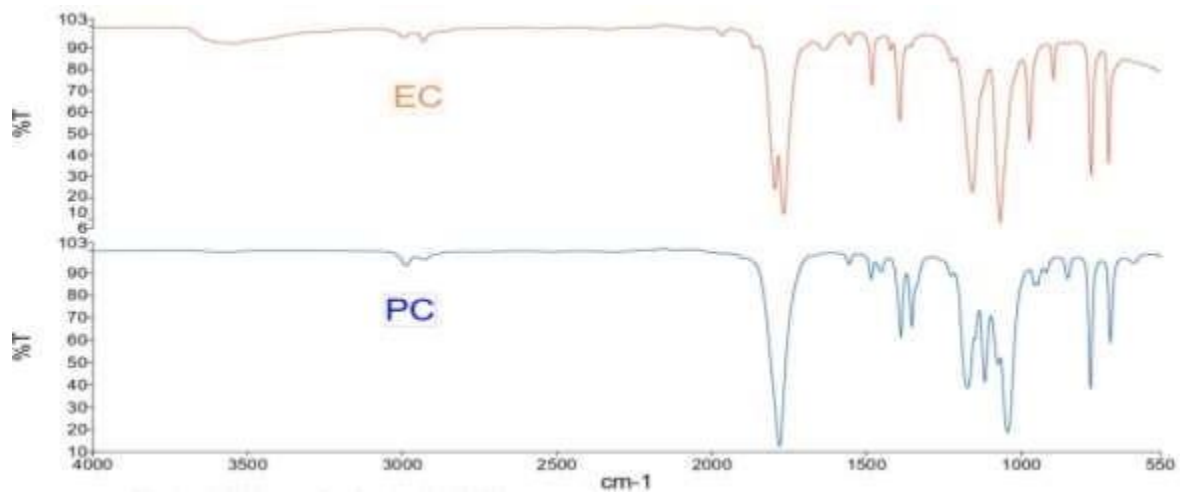
Panjang Gelombang (cm^{-1})	Interpretasi
1780,89	Gugus C=O dari etilen Carbonat da Propilen Karbonat dari PC

C. EC-PC

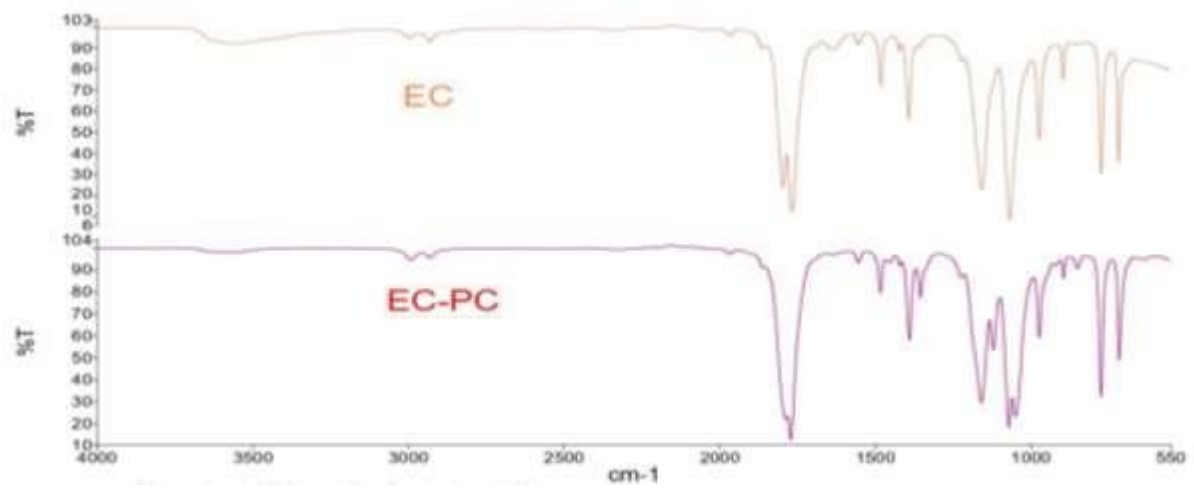


Panjang Gelombang (cm^{-1})	Interpretasi
893,48	Campuran EC-PC
1771,17	Gugus C=O dari etilen Carbonat da Propilen Karbonat dari Campuran EC-PC

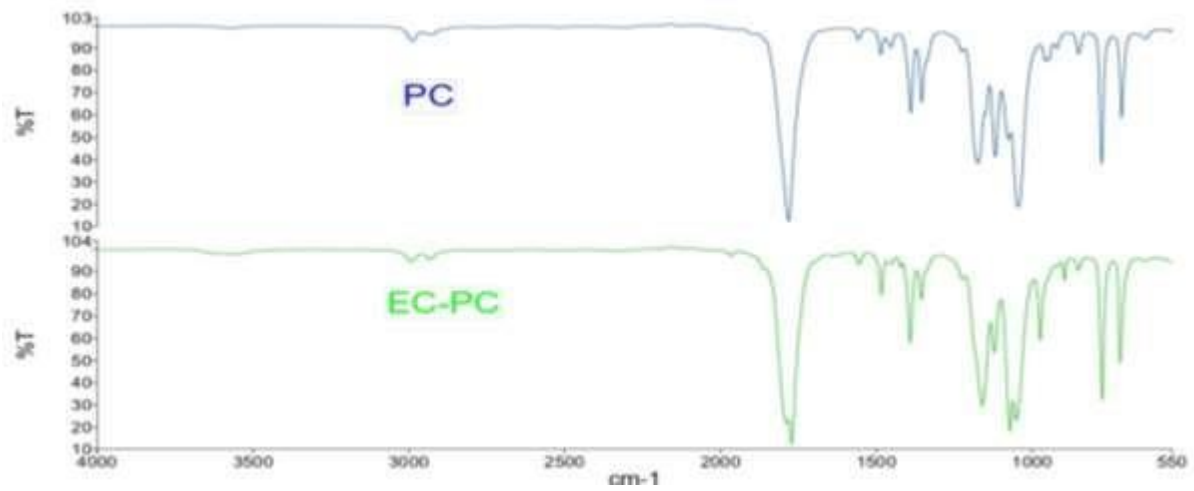
D. Overlapping spectra EC dan PC



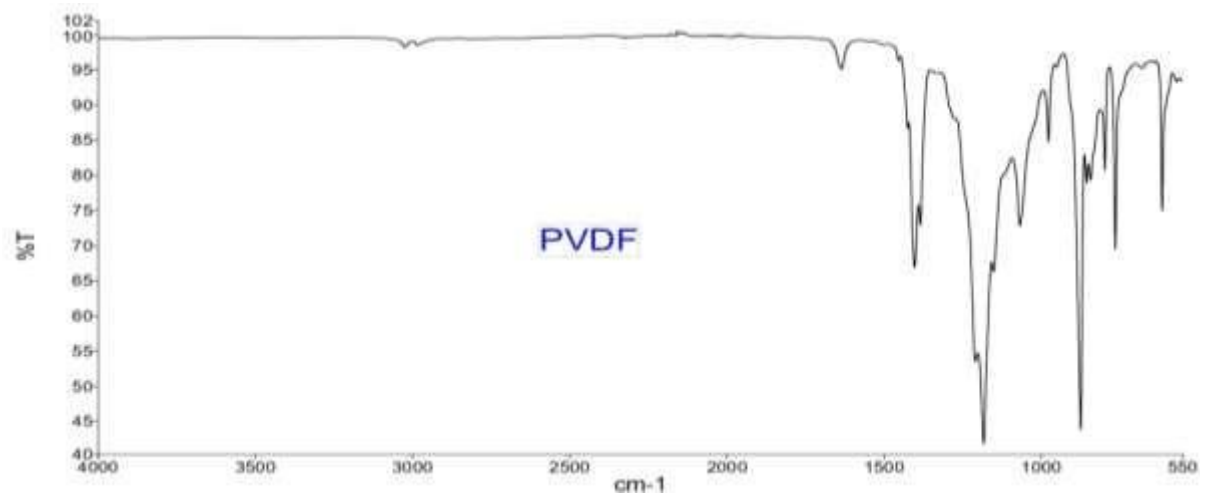
E. Overlapping spectra EC dan EC-PC



F. Overlapping spectra PC dan EC-PC

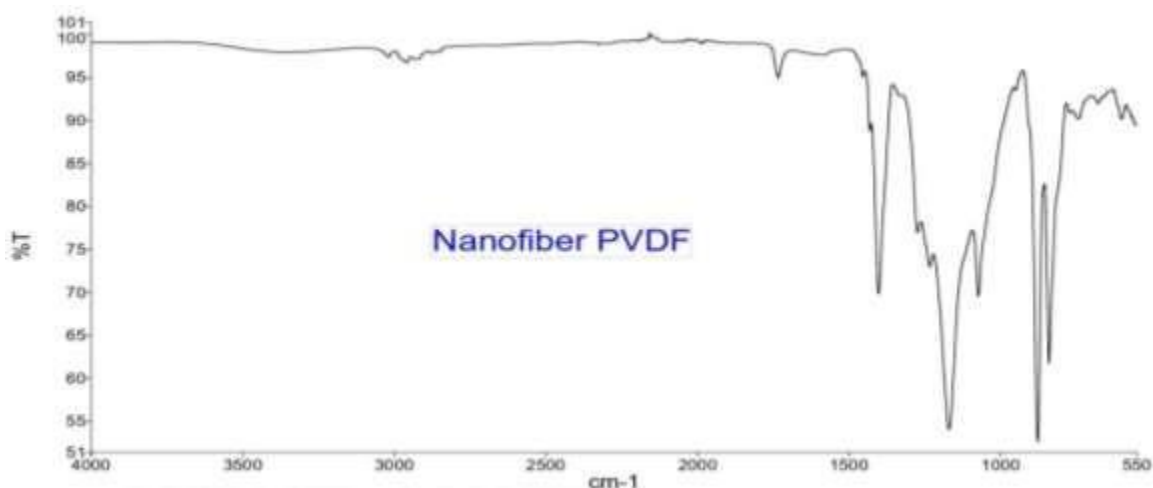


G. PVDF



Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Interpretasi
2984,09	Stretching asimetris CH ₂
1402,3	Wagging CH ₂
1182,17	Stretching CF
1066,92	Bending CH
975,61	Stretching C-F
873,09	• Stretching C-F • Kombinasi CF₂ dan vibrasi stretching CCC • Bending CH₂ • <i>Pure</i> PVDF
841,15	• Amorphous phase (β-phase) • CH₂ rocking • Strecthing asimetris CF₂
795,97	Vibrasi stretching CF ₃
762,71	• Crystalline phase (α-phase) • Vibrasi rocking CH₂
613,88	• Mixed mode CF ₂ bending and CCC skeletal vibrations

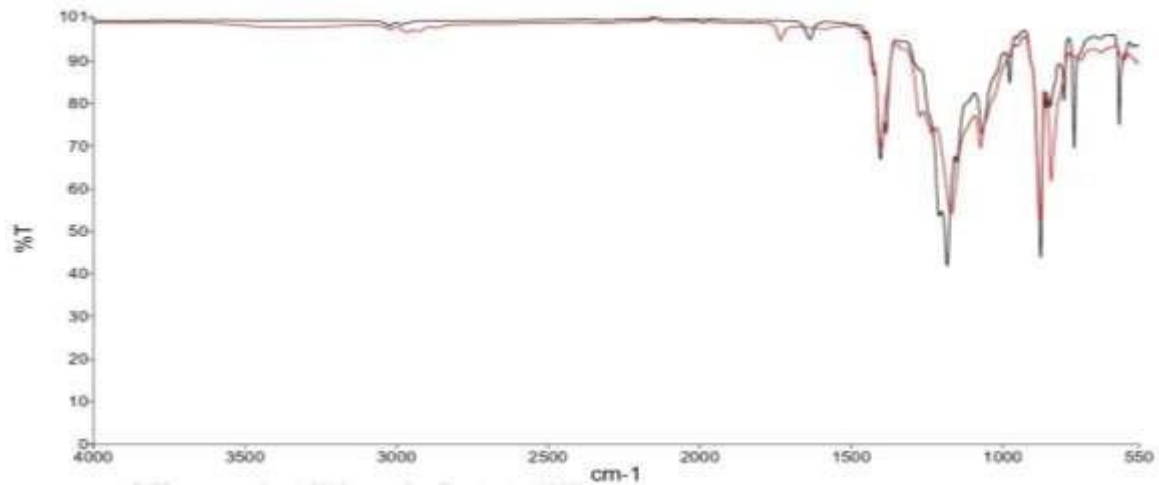
H. PVDF NF



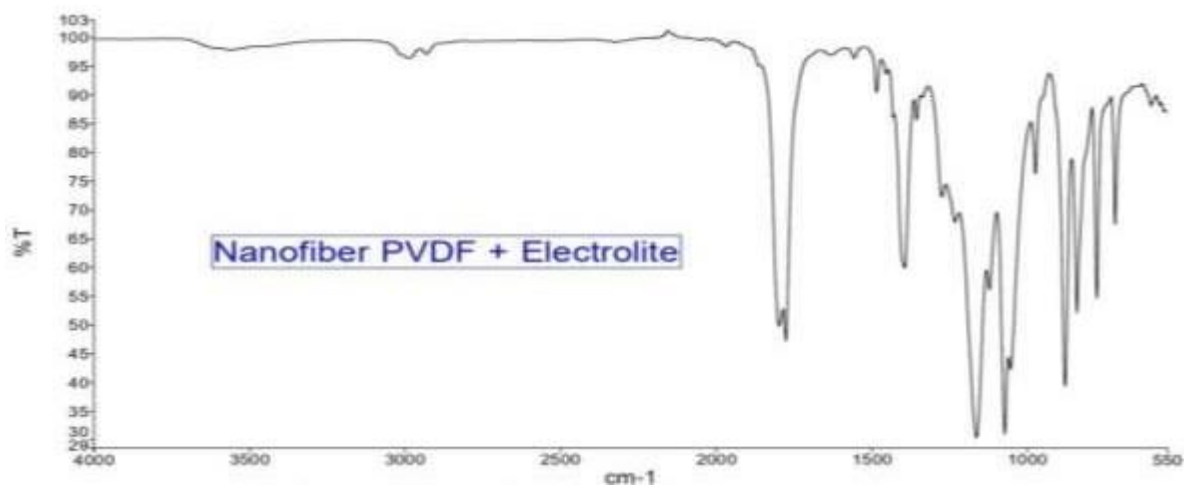
Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Interpretasi
3019,31	Stretching asimetris CH ₂
2961,30	Stretching asimetris CH ₂
1401,79	Wagging CH ₂
1169,08	Stretching CF
1071,86	Bending CH
875,84	• Vibrasi stretching C-F • Kombinasi CF₂ dan vibrasi stretching CCC • Vibrasi skeleton C-C • <i>Pure</i> PVDF
838,81	• CH₂ rocking • Stretching asimetris CF₂ • Amorphous phase (β-phase)
740,40	• Crystalline phase (α-phase)

	• Vibrasi rocking CH ₂
598,85	Mixed mode CF ₂ bending dan vibrasi skeletal CCC

I. Overlapping spectra PVDF dan PVDF NF



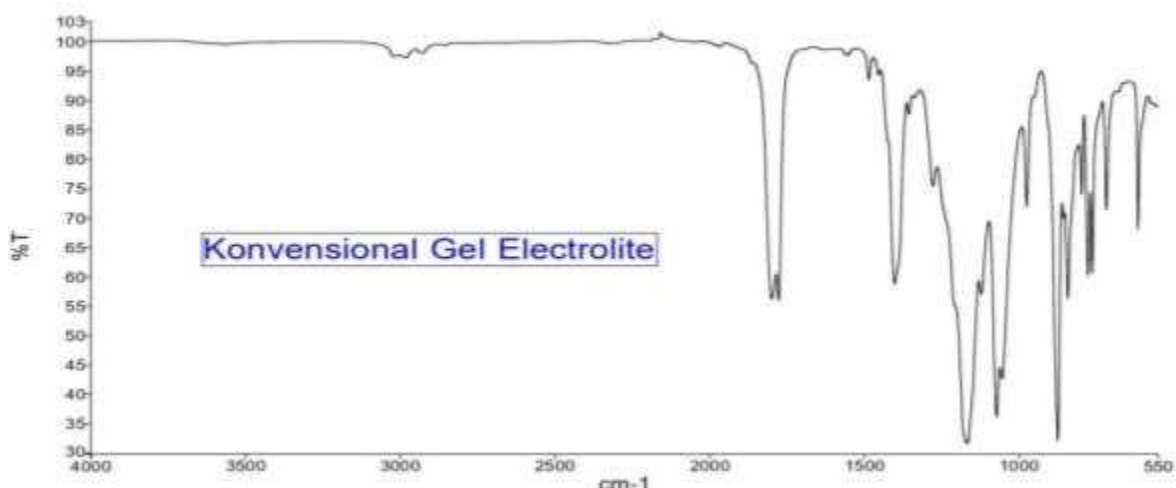
J. Elektrolit gel berbasis NF



Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Interpretasi
2984,28	Stretching asimetris CH ₂
1775,26	Vibrasi stretching C=O dari etilen carbonate dan propilen carbonate
1430,27	Wagging CH ₂
1162,13	Stretching CF
1052,36	Bending CH
972,56	C-F stretching
876,88	• Stretching C-F • Kombinasi CF₂ dan vibrasi stretching CCC • Bending CH₂ • Pure PVDF
839,15	• Amorphous phase (β-phase) • CH₂ rocking

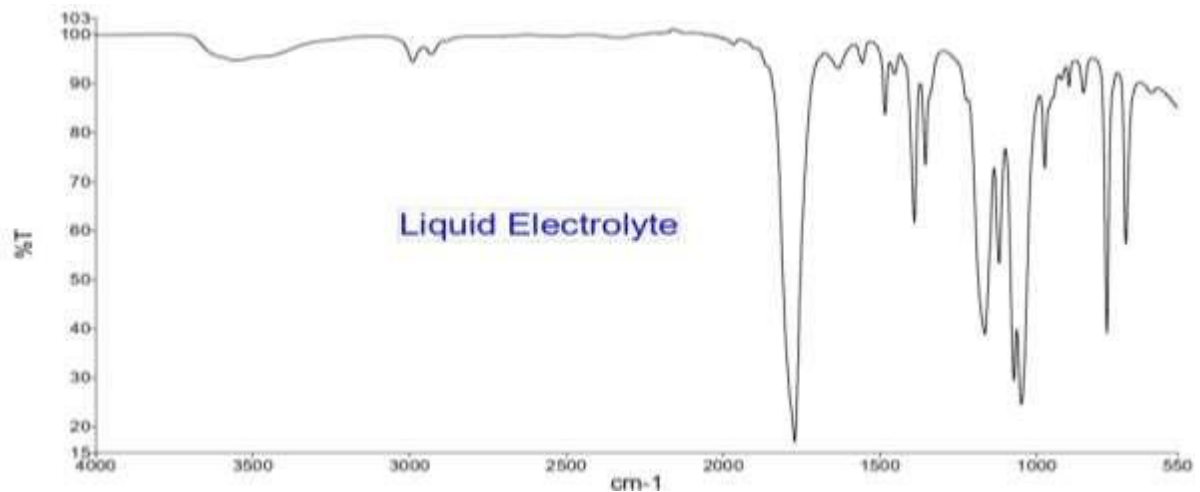
	• Stretching asimetris CF_2
774,491	• Vibrasi rocking CH_2 • Crystalline phase (α-phase)
600,2	Mixed mode CF_2 bending dan vibrasi skeletal CCC

K. Conventional gel electrolyte



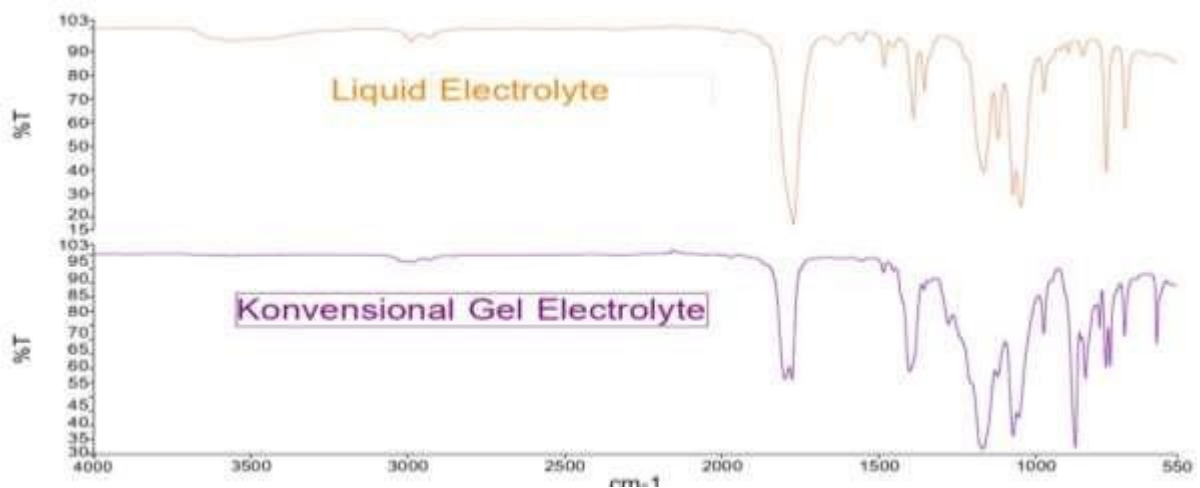
Bilangan Gelombang (cm^{-1})	
2984,63	Stretching asimetris CH_2
1776,32	Vibrasi stretching C=O dari etilen carbonate dan propilen carbonate
1401,1	Wagging CH_2
1182,17	Stretching CF
1066,92	Bending CH
973,83	C-F stretching
873,09	• Stretching C-F • Kombinasi CF_2 dan vibrasi stretching CCC • Bending CH_2 • Pure PVDF
840,67	• Amorphous phase (β-phase) • CH_2 rocking • Stretching asimetris CF_2
795,92	Vibrasi stretching CF_3
761,42	• Crystalline phase (α-phase) • Vibrasi rocking CH_2
613,51	Mixed mode CF_2 bending and CCC skeletal vibrations

L. Liquid electrolyte

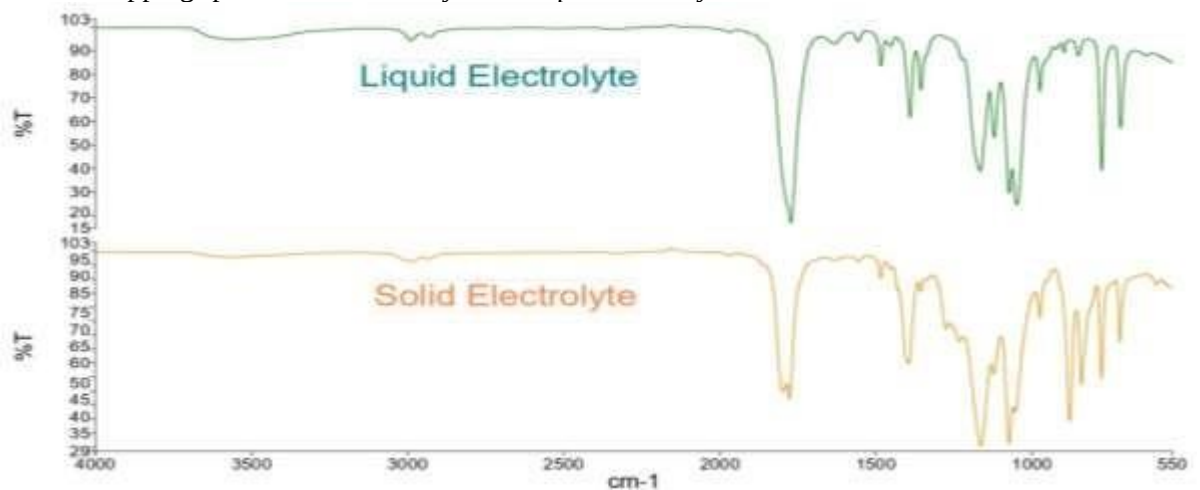


Panjang Gelombang (cm ⁻¹)	Interpretasi
895,2	Interaksi antara K ⁺ dan kompleks EC
1771,57	Gugus C=O dari etilen carbonat dan propilen karbonat

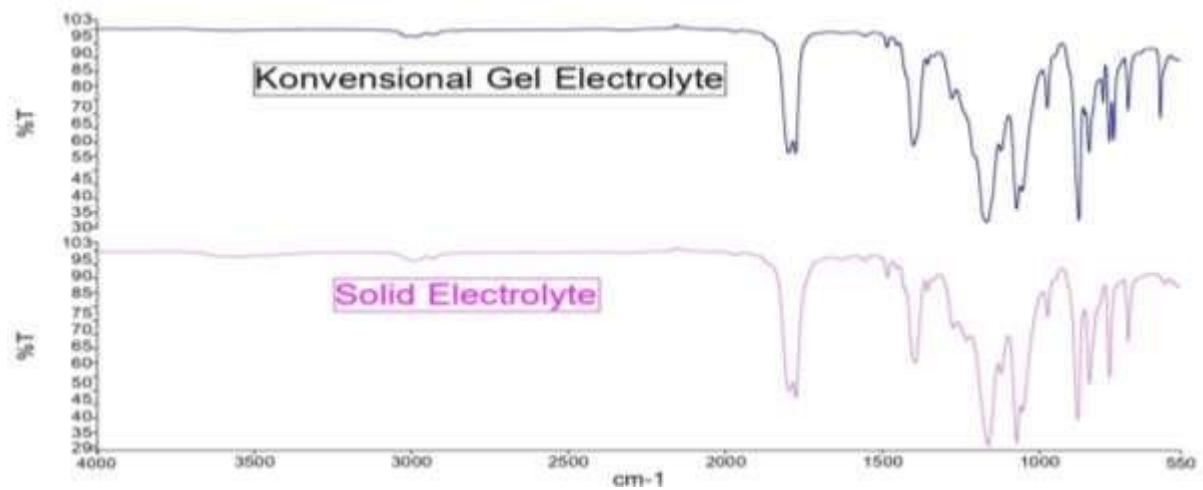
M. Overlapping spectra conventional gel electrolyte dan liquid electrolyte



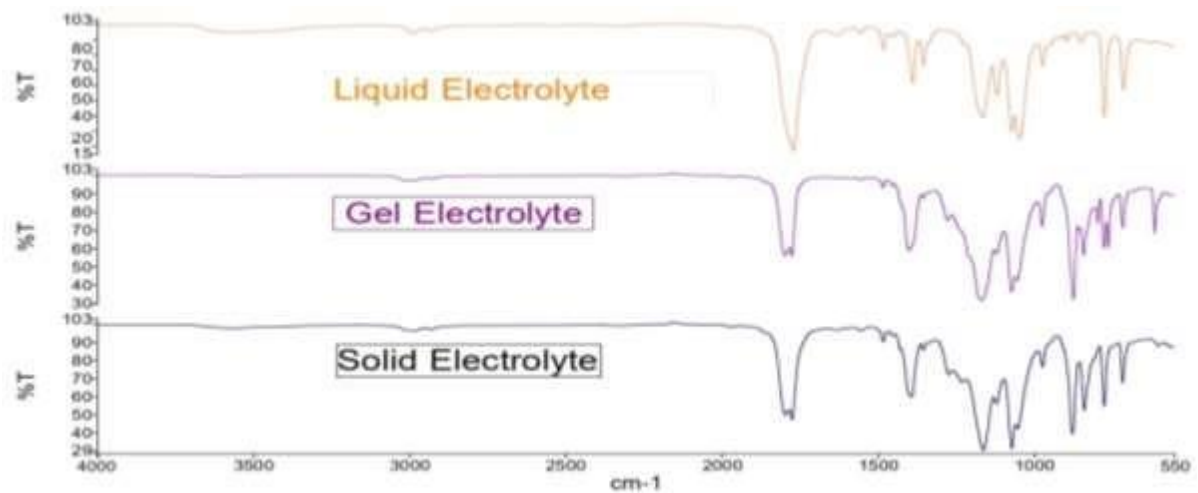
N. Overlapping spectra solid electrolyte dan liquid electrolyte



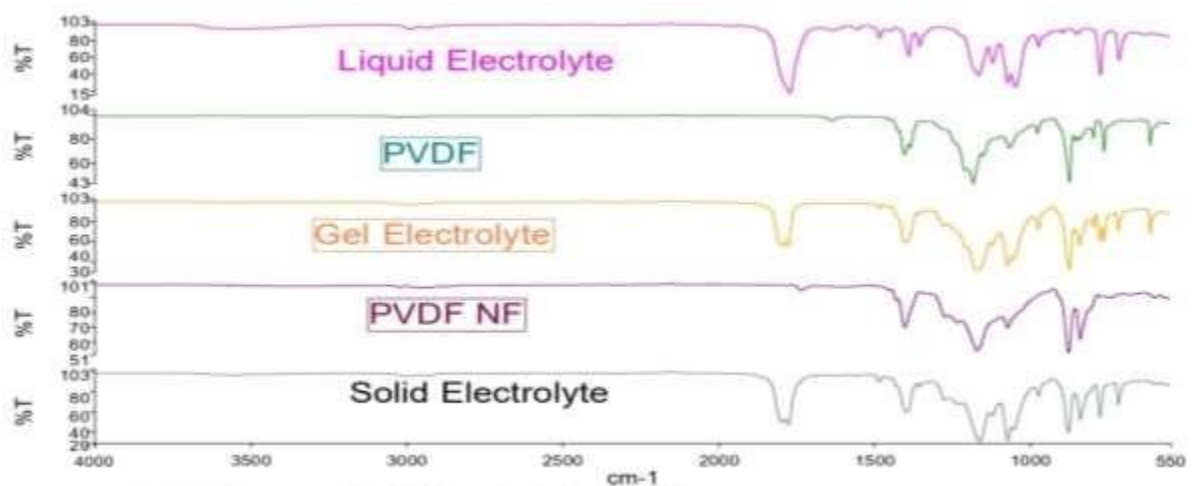
O. Overlapping spectra *conventional gel electrolyte* dan *solid electrolyte*



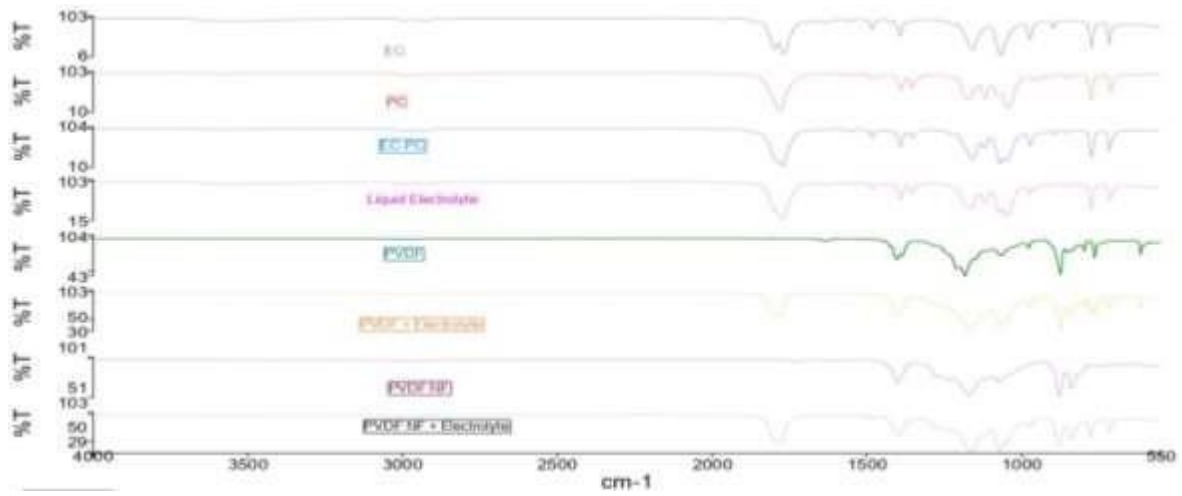
P. Overlapping spectra *conventional gel electrolyte*, *liquid electrolyte*, dan elektrolit gel berbasis PVDF NF



Q. Overlapping spectra *conventional gel electrolyte*, *liquid electrolyte*, PVDF, PVDF NF dan elektrolit gel berbasis PVDF NF



R. Overlapping spectra EC, PC, EC-PC, *conventional gel electrolyte*, *liquid electrolyte*, PVDF, PVDF NF dan elektrolit gel berbasis PVDF NF





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA
Kampus Lidah Wetan
Jalan Lidah Wetan, Surabaya
Telepon 031-99421834, 99421835, Faksimil : 031-99424002
www.unesa.ac.id

KEPUTUSAN REKTOR UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA
NOMOR 409/UN38/HK/PP/2021

TENTANG

PENETAPAN PENERIMA PENELITIAN TAHUN JAMAK PENELITIAN TERAPAN
DAN PEMBINAAN/KAPASITAS DANA DRPM TAHUN 2021

REKTOR UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA,

- Menimbang : a. bahwa berdasarkan hasil seleksi desk evaluasi dan pemaparan proposal penelitian yang dilakukan oleh panitia seleksi, telah ditetapkan penerima Penelitian Tahun Jamak Penelitian Terapan Dan Pembinaan/Kapasitas Dana DRPM Tahun Anggaran 2021;
- b. bahwa berdasarkan pertimbangan sebagaimana dimaksud dalam huruf a, perlu menetapkan Keputusan Rektor Universitas Negeri Surabaya Tentang Penetapan Penerima Penelitian Tahun Jamak Penelitian Terapan Dan Pembinaan/Kapasitas Dana DRPM Tahun 2021;
- Mengingat : 1. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2009 tentang Dosen (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 76, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5007);
2. Peraturan Pemerintah RI Nomor 4 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 16, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5500);
3. Peraturan Menteri Keuangan RI Nomor 92/PMK.05/2011 tentang Rencana Bisnis dan Anggaran Serta Pelaksanaan Anggaran Badan Layanan Umum (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2011 Nomor 363);
4. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 15 Tahun 2016 tentang Organisasi dan Tata Kerja Universitas Negeri Surabaya (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 889);
5. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 79 Tahun 2017 tentang Statuta Universitas Negeri Surabaya (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2017 Nomor 1858);

6. Keputusan Menteri Keuangan RI Nomor 50/KMK.05/2009 tentang Penetapan Universitas Negeri Surabaya Pada Departemen Pendidikan Nasional sebagai Instansi Pemerintah yang menerapkan Pengelolaan Keuangan Badan Layanan Umum;
7. Keputusan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 461/M/KPT.KP/2018 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Rektor Universitas Negeri Surabaya Periode Tahun 2018-2022;

MEMUTUSKAN :

- Menetapkan : KEPUTUSAN REKTOR UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA TENTANG PENETAPAN PENERIMA PENELITIAN TAHUN JAMAK PENELITIAN TERAPAN DAN PEMBINAAN/KAPASITAS DANA DRPM TAHUN 2021.
- KESATU : Menetapkan Penerima Penelitian Tahun Jamak Penelitian Terapan Dan Pembinaan/Kapasitas Dana DRPM Tahun 2021, sebagaimana tercantum dalam Lampiran yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Keputusan Rektor ini.
- KEDUA : Dalam melaksanakan tugasnya sebagai Penerima Penelitian Tahun Jamak Penelitian Terapan Dan Pembinaan/Kapasitas Dana DRPM Tahun 2021, wajib berpedoman pada ketentuan yang berlaku, dan secara tertulis memberikan laporan kepada Rektor Universitas Negeri Surabaya.
- KETIGA : Keputusan Rektor ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan sampai dengan tanggal 31 Desember 2021.

Ditetapkan di Surabaya
pada tanggal 18 Maret 2021
REKTOR UNIVERSITAS NEGERI
SURABAYA,

Salinan sesuai dengan aslinya.
Kepala Biro Umum dan Keuangan,

ttd

NURHASAN
NIP 196304291990021001

SULAKSONO
NIP 196504091987011001

DAFTAR PENERIMA PENELITIAN TAHUN JAMAK PENELITIAN TERAPAN TAHUN ANGGARAN 2021
DANA DRPM TAHUN 2021

No.	Fakultas	Jurusan	Program Studi	Judul	Tim Peneliti	NIDN	Gol.	Pend.	L/P	Waktu (bln)	Dana yg disetujui (Rp.)	Termin I (100%) (Rp.)	No. Rekening	Skema
1	FMIPA	Kimia	Kimia	Penerapan teknologi nanomaterial hidroksiapatit silver flourida kitosan untuk rekonstruksi fraktur gigi	Prof. Dr. Sari Edi Cahyaningrum, M.Si. Prof. Dr. Titik Taufikurohmah, S.Si., M.Si. Dina Kartika Maharani, S.Si., M.Sc.	0029127002 0013046805 0006068204	IV/c IV/e IV/a	S-3 S-3 S-2	P P P	18 Mart - 16 Nov 2021	252.220.000	252.220.000	00377-01-58-000329-2	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi
2	FMIPA	Kimia	Kimia	Standarisasi Produksi Hand Sanitizer Berbasis Etanol HSBE berbahan baku Komoditas Lokal dan Limbah Lignoselulosa untuk mereduksi Potensi Pemalsuan dalam Pencegahan Penularan Covid19	Dr. Pirim Setiarso, M.Si. Dr. Agus Budi Santosa, M.Pd. Dr. Nita Kusumawati, S.Si., M.Sc.	0027086003 0022085805 0004078201	III/d IV/a IV/a	S-3 S-3 S-3	L L P	18 Mart - 16 Nov 2021	330.423.000	330.423.000	00377-01-58-000714-9	Penelitian Terapan
3	FT	Pendidikan Kesejahteraan Keluarga	Pendidikan Tata Boga	Pencegahan Fungsi Carrier Virus Pada Anak di Era Pandemi Covid19 Melalui Produksi Herbal Jelly Drink	Ir. Asrul Bahar, M.Pd. Dr. Maria Monica Sianita Basukiwardoyo, M.Si. Samik, S.Si., M.Si.	0007086006 0003056410 0006088306	IV/a IV/a III/b	S-2 S-3 S-2	L P L	18 Mart - 16 Nov 2021	294.478.000	294.478.000	00377-01-58-000357-7	Penelitian Terapan
4	FMIPA	Biologi	Pendidikan Biologi	Implementasi Formula Biopestisida Tapak Liman (Elephantopus scaber) Untuk meningkatkan Kualitas Agroekosistem	Dr. Yuliani, M.Si. Dr. Yuni Sri Rahayu, M.Si. Sari Kusuma Dewi, S.Si., M.Si.	0021076801 0008066605 0005058309	IV/c IV/a III/b	S-3 S-3 S-2	P P P	18 Mart - 16 Nov 2021	99.870.000	99.870.000	00377-01-58-000568-4	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi
5	FMIPA	Matematika	Pendidikan Matematika	Sistem Eyetracking untuk Analisis Kognisi Anak dengan Learning Disabilities dalam Pendidikan Formal	Rooselyna Ekawati, Ph.D. Dr. Elly Matul Imah, M.Kom.	0015108201 0005048201	III/d III/d	S-3 S-3	P P	18 Mart - 16 Nov 2021	154.850.000	154.850.000	00377-01-58-001154-6	Penelitian Terapan
6	FISH	Pendidikan Geografi	Pendidikan Geografi	Penerapan Media Pembelajaran 3 Dimensi Pada Siswa Tuna Netra Untuk Meningkatkan Minat dan Hasil Belajar IPS SMP	Dr. Sukma Perdana Prasetya, S.Pd., M.T. Riyadi, S.Pd., M.A. Ali Imron, S.Sos., M.A.	0006128002 0020068601 0008088304	III/c III/b III/d	S-3 S-2 S-2	L L L	18 Mart - 16 Nov 2021	84.522.000	84.522.000	00377-01-58-000951-5	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi
7	FBS	Seni Drama, Tari, dan Musik	Pendidikan Seni Budaya	Penciptaan Tari Topeng Gaya Jombang Berbasis Budaya Panji Untuk Bahan Ajar Pembelajaran Seni Budaya	Dr. Setyo Yanuartuti, M.Si. Joko Winarko, S.Sn., M.Sn. Dra. Jajuk Dwi Sasanadjati, M.Hum.	0015016902 0026037604 0011056713	IV/a III/b III/c	S-3 S-2 S-2	P L P	18 Mart - 16 Nov 2021	202.270.000	202.270.000	00377-01-58-001348-3	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi
8	FIP	Pendidikan Guru Sekolah Dasar	Pendidikan Dasar	Pengembangan Model Perkuliahan Literasi Multidisiplin Berbasis Team Teaching dan Integrated Approach untuk Mengoptimalkan Kompetensi Abad ke-21 Mahasiswa Jurusan PGSD	Prof. Dr. Wahyu Sukartiningih, M.Pd. Neni Mariana, S.Pd., M.Sc., Ph.D. Roihana Waliyyul Mursyidah	0018016801 0021118101	IV/d III/d	S-3 S-3	P P P	18 Mart - 16 Nov 2021	187.200.000	187.200.000	00377-01-58-000793-7	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi

DAFTAR PENERIMA PENELITIAN TAHUN JAMAK PENELITIAN TERAPAN TAHUN ANGGARAN 2021
DANA DRPM TAHUN 2021

No.	Fakultas	Jurusan	Program Studi	Judul	Tim Peneliti	NIDN	Gol.	Pend.	L/P	Waktu (bln)	Dana yg disetujui (Rp.)	Termin I (100%) (Rp.)	No. Rekening	Skema
9	FISH	Pendidikan Moral Pancasila dan Kewarganegaraan	Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial	Pengembangan Model Kebijakan Pendidikan Karakter untuk menanamkan Jati Diri ke-Indonesiaan Pada Jenjang Sekolah Dasar di Kabupaten Sidoarjo Jawa Timur di Era Globalisasi	Prof. Dr. Sarmini, M.Hum. Prof. Dr. Warsono, M.S.	0008086803 0019056003	IV/d IV/e	S-3 S-3	P L	18 Mart - 16 Nov 2021	271.269.000	271.269.000	00377-01-58-001356-4	Penelitian Terapan
10	FMIPA	Biologi	Pendidikan Biologi	Pengembangan Aplikasi Learning HOTS-Link Berbasis Android Untuk Melatih Cara Mengajar Keterampilan Berpikir Tingkat Tinggi pada Materi Biologi	Prof. Dr. Endang Susantini, M.Pd. Dr. Raharjo, M.Si. Dr. Isnawati, M.Si.	0013076605 0015036503 0022116702	IV/d IV/a IV/a	S-3 S-3 S-3	P L P	18 Mart - 16 Nov 2021	135.015.000	135.015.000	00377-01-58-000097-7	Penelitian Terapan
11	FT	Teknik Elektro	Teknik Elektro	Perancangan Smart Pirates (Pelindung Tubuh Atlet Silat Pintar) Berbasis Internet Of Things Dalam Membantu Wasit Untuk Pengambilan Keputusan Pertandingan	Dr. Lilik Anifah, S.T., M.T. Muhamad Syarifuddin Zuhrie, S.Pd., M.T.	0002097901 0025067709	III/c III/c	S-3 S-2	P L	18 Mart - 16 Nov 2021	163.442.000	163.442.000	00377-01-58-001146-5	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi
12	FMIPA	Matematika	Matematika	Sistem Cerdas Deteksi dan Peringatan Dini Tindak Kekerasan Pada Anak	Dr. Elly Matul Imah, M.Kom. Dr. Atik Wintarti, M.Kom.	0005048201 0012106608	III/d IV/a	S-3 S-3	P P	18 Mart - 16 Nov 2021	180.480.000	180.480.000	00377-01-58-001368-7	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi
13	FIP	Pendidikan Luar Biasa	Pendidikan Luar Biasa	Pengembangan Model Orientasi Mobilitas - Sosial dan Komunikasi (OMSK) Berbasis Aplikasi Android Untuk Problem Based Learning Memahami Konsep Lingkungan Kampus Unesa Bagi Difabel Netra	Dr. Sri Joeda Andajani, M.Kes. Dr. Endang Pudjiastuti Sartinah, M.Pd. Dr. Meini Sondang Sumbawati, M.Pd.	0009046309 0030105905 0015056104	IV/c IV/a IV/a	S-3 S-3 S-3	P P P	18 Mart - 16 Nov 2021	73.268.000	73.268.000	00377-01-58-000390-9	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi
14	FT	Teknik Elektro	Teknik Elektro	Peningkatan Pola Radiasi dan Pemodelan Mutual Coupling Antenna Array Vivaldi Coplanar Untuk Aplikasi Radar	Dr. Nurhayati, S.T., M.T. Eko Setijadi S.T., M.T., Ph.D	0004127803 0001107205	III/d III/c	S-3 S-3	P L	18 Mart - 16 Nov 2021	148.450.000	148.450.000	00377-01-58-000371-3	Penelitian Terapan
Grand Total											2.577.757.000	2.577.757.000		

Ditetapkan di : Surabaya
Pada tanggal : 18 Maret 2021

ttd

NURHASAN
NIP. 196304291990021001

SULAKSONO
NIP. 196504091987011001