

**SINTESIS KOMPOSIT POLIANILIN/POLIPIROL  
DENGAN METODE POLIMERISASI OKSIDATIF  
SEBAGAI ELEKTRODA UNTUK PROSES  
ADSORPSI-DESORPSI  $\text{Na}^+$  DAN  $\text{Cl}^-$**

**Skripsi**

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Sains**



**FEBRI RAHMADI  
3325130988**

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

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### SINTESIS KOMPOSIT POLIANILIN/POLIPYROL DENGAN METODE POLIMERISASI OKSIDATIF SEBAGAI ELEKTRODA UNTUK PROSES ADSORPSI-DESORPSI Na<sup>+</sup> DAN Cl<sup>-</sup>

Nama Mahasiswa : Febri Rahmadi  
No Registrasi : 3325130988  
Program Studi : Kimia

|                                      | Nama  | Tanggal    |
|--------------------------------------|---|------------|
| Penanggung Jawab Dekan               | : Prof. Dr. Suyono, M.Si.<br>NIP 19671218 199303 1 005      | 23-08-2017 |
| Wakil Penanggung Jawab Wakil Dekan I | : Dr. Muktiningsih N., M.Si.<br>NIP 19640511 198903 2 001   | 24-08-2017 |
| Ketua                                | : Dr. Maria Paristiwati, M.Si.<br>NIP 19671020 199203 2 001 | 22-08-2017 |
| Sekretaris                           | : Arif Rahman, M.Sc.<br>NIP 19790216 200501 1 003           | 21-08-2017 |
| Anggota Penguji                      | : Hanhan Dianhar, M.Si.<br>NIP 19900929 201504 1 003        | 21-08-2017 |
| Pembimbing I                         | : Dr. Setia Budi, M.Si.<br>NIP 19790621 200501 1 001        | 23-08-2017 |
| Pembimbing II                        | : Dr Yusmaniar, M.Si.<br>NIP 19620626 199602 2 001          | 23-08-2017 |

Dinyatakan lulus ujian skripsi pada tanggal 15 Agustus 2017

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul **“Sintesis Komposit Polianilin/Polipirol dengan Metode Polimerisasi Oksidatif sebagai Elektroda untuk Proses Adsorpsi-Desorpsi Na<sup>+</sup> dan Cl<sup>-</sup>”** yang disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Program Studi Kimia Universitas Negeri Jakarta adalah karya ilmiah saya dengan arahan dari dosen pembimbing.

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

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

Jakarta, 10 Agustus 2017



Febri Rahmadi

## **LEMBAR PERSEMBAHAN**

### **Bismillahirrahmanirrahiim...**

Sembah sujud serta puji syukur kehadirat Allah SWT yang maha pengasih lagi maha penyayang yang telah menciptakanku, melindungiku, serta menganugrahkanku kesempatan hidup di dunia ini, sehingga penulis dapat menjalani berbagai peristiwa hidup yang mengantarkanku kepada salah satu momen kehidupan yang terindah ini. Segala puji takan dapat membalas segala kebaikanNya, atas segala nikmat dan kasih sayangNya, yang telah diberikan dalam hidup hambaNya, karena Dialah yang Maha Sempurna, Maha bijaksana, dan Maha Pengasih dan Penyayang. Atas karunia yang telah Engkau berikan akhirnya skripsi yang sederhana ini dapat terselesaikan. Shalawat serta salam tak lupa selalu terlimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW.

Kupersembahkan karya ini kepada orang yang sangat kukasihi dan kusayangi.

### **Ibu, Ayah, dan Kakak tercinta**

Kupersembahkan karya ini kepada kedua orang tuaku kukasihi dan kusayangi, Ibu Muryantiyem dan Bapak BasukiMujo Mulyono, sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terimakasih, karena telah melahirkanku, membesarkanku dengan penuh kasih sayang, memberikan segala pelajaran hidup agar menjadi manusia yang lebih baik, dan selalu menyebutku dalam setiap doanya untuk kesuksesan anaknya, yang mungkin semua itu tak mungkin dapat aku balas dengan apapun, semoga ini menjadi langkah awal bagiku untuk membahagiakan ibu dan ayah.

Kepada keempat kakak kandungku yang aku hormati dan kusayangi Endang Kiswanti, Erni Winarsih, Wahyu Siswanto, dan Muhammad Safri. Mereka adalah tempatku belajar tentang pengalaman hidup, serta motivasiku untuk melampaui atau menyamai pencapaian yang telah mereka raih.

### **Dosen Pembimbing yang saya hormati**

Bapak Setia Budi, M.Sc dan Ibu Yusmaniar, M.Si selaku dosen pembimbing skripsi saya. Bapak dan ibu adalah orang yang sangat saya hormati dan kagumi. Terimakasih karena telah menyediakan banyak waktu, tenaga, dan pikiran dalam mengarahkan saya saat saya melaksanakan kegiatan perkuliahan, penelitian hingga penyusunan skripsi ini. Hanya Allah SWT yang dapat membalas

segala amal baik bapak dan ibu. Maafkan saya apabila selama saya menjadi anak bimbingan bapak, dan ibu, masih banyak kekurangan dan kesalahan yang ada pada diri saya.

Ibu Yusmaniar, M.Si selaku kepala program studi Kimia, yang merupakan sosok orang tua yang selalu membimbing, dan memberikan dorongan motivasi kepada kami mahasiswa kimia 2013. Selalu memberikan nasihat dan arahan yang baik demi masa depan kami. Dosen-dosen kimia yang telah memberikan banyak ilmu yang bermanfaat kepada kami. Semoga ilmu yang telah bapak dan ibu berikan dapat kami manfaatkan dengan baik di kemudian hari, sehingga menjadi amal zariah untuk bapak dan ibu sekalian. Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

### **Sahabat-sahabat terbaik**

Ahmad Rafly Juliana S.Si, Alhamdulillah setelah perjuangan panjang serta lika liku penelitian yang berat kita jalani, akhirnya kita berhasil menyelesaikan pendidikan sarjana kita tepat waktu. Maaf dan terimakasih untuk semua perjuangan dan pengorbanan ini. Semoga Allah SWT tetap menjaga kita dalam ukhwah islamiyah yang erat. Aamiin.

Eka Nur Rizqiani, terimakasih telah menemani aku selama kurang lebih lima tahun ini, menjadi orang yang paling dekat, selalu memberikan motivasi, support, menasihati ketika salah, dan selalu ikhlas membantu dari aku masuk kuliah hingga saat ini, saat diri ini membutuhkannya. Terimakasih telah menjadi sosok yang terbaik dan selalu dapat diandalkan. Tak bisa ku membalas segala kebaikanmu satu persatu, hanya doa yang dapat ku panjatkan semoga Allah SWT membalas segala kebaikanmu, dan memberikan segala yang terbaik dalam hidupmu. Semoga sukses dan bahagia tercurah untuk mu. Aamiin

Rafly, Erlan, Rio, Zaini, Linggar, Nubail, Adtya, Haris, Abimanyu, Afaf, dan Tizar, laki-laki Kimia 2013 yang selalu menjadi sahabat dan selalu ada saat dibutuhkan. Sahabat yang selalu menjadi tempat berbagai cerita suka dan duka, serta selalu memberikan motivasi saat diri ini mulai jenuh akan segala aktivitas yang aku jalani. Serta tempat yang tepat untuk menghilangkan stress saat diri ini ditimpa suatu masalah. Terimakasih telah bersedia menjadi teman, sahabat, dan bahkan keluarga yang selalu ada saat diri ini membutuhkan pertolongan. Dan semoga kita semua menjadi manusia yang sukses dunia dan akhirat. Aamiin

Arum Ayu Ningsih, Rizqi Aulia Tawwabin, Apriliani Puspita, Ahmad Rafly Juliana, dan Maryanti, sahabat seperjuangan dalam satu payung penelitian “Efun Research Group” yang melewati masa-masa akhir berjuang bersama untuk mencapai gelar sarjana. Semoga kita semua sukses dengan jalannya masing-masing dan selalu dalam lindungan Allah SWT.

Saudara-saudaraku tercinta di kelas KIMIA 2013 yang tidak dapat kusebutkan satu persatu, terimakasih atas semua kebersamaan, kekompakan, kekeluargaan, dan kenangan terindah dan rasa saling memiliki yang kalian berikan. Hal itu menjadi salah satu penguat dan penyemangatku untuk bertahan selama menempuh pendidikan ini. Banyak kenangan yang telah kita lewati dari suka hingga duka, semoga hal itu yang dapat memperkuat hubungan kita setelah melewati masa-masa ini. Semoga Allah SWT memberikan kita semua kesuksesan yang berkah untuk dunia dan akhirat. Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Selalu ada harapan, bagi mereka yang berdoa.

Selalu ada jalan, bagi mereka yang meminta

Barangsiapa letih di malam hari karena kerja keras di siang hari,  
maka pada malam itu dosanya diampuni

(HR Ahmad)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT Yang Maha Kuasa atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Sintesis Polianilin/Polipirol dengan Metode Polimerisasi Oksidatif Sebagai Elektroda Untuk Proses Adsorpsi-Desorpsi  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ ” sesuai dengan waktu yang telah direncanakan. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu tugas untuk memenuhi syarat-syarat guna memperoleh gelar Sarjana Sains Program Studi Kimia 2013.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Setia Budi, M.Sc selaku dosen pembimbing I dan Ibu Yusmaniar, M.Si selaku dosen pembimbing II dan Ketua Program Studi KIMIA UNJ atas bimbingan, arahan, serta dorongan semangatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih pula kepada orang tua serta pihak yang telah memberikan bantuan baik secara moril maupun materil selama pengerjaan skripsi ini. Selain itu penulis juga mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ibu Tritiyatma H.,M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik beserta seluruh dosen Kimia UNJ yang telah membimbing serta memberikan ilmu yang bermanfaat bagi penulis selama perkuliahan di Program Studi KIMIA UNJ
2. Bapak Dr. Agung Imaduddin dari BATAN LIPI Puspitek Serpong yang telah membantu dan berbagi ilmu mengenai instrument *Four Point Probe*
3. Bapak Erizal dari BATAN Pasar Jumat yang telah membantu dan berbagi ilmu mengenai karakterisasi instrument FTIR

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, maka penulis mengharapkan kritik dan saran demi menyempurnakan skripsi ini. Akhir kata hanya kepada Allah SWT penulis kembalikan semua urusan ini, dan penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, khususnya mahasiswa/i Universitas Negeri Jakarta. Semoga Allah SWT meridhoi dan mencatat sebagai ibadah disisi-Nya. Aamiin.

Jakarta, 10 Agustus 2017

Penulis

## ABSTRAK

FEBRI RAHMADI. Sintesis Polianilin/Polipirol dengan Metode Polimerisasi Oksidatif Sebagai Elektroda Untuk Proses Adsorpsi-Desorpsi Na<sup>+</sup> dan Cl<sup>-</sup>.  
Dibawah bimbingan SETIA BUDI, YUSMANIAR

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis film komposit PANI/PPy untuk dijadikan sebagai elektroda pada teknologi *capacitive deionization* (CDI). Film komposit PANI/PPy disintesis dengan memvariasikan komposisi polipirol (PPy) dengan metode polimerisasi oksidatif. Komposit PANI/PPy yang disintesis memiliki struktur amorf, morfologi berbentuk granular yang tertumpuk rapat, dengan luas permukaan sebesar 44,6705 m<sup>2</sup>/g, dan diameter pori rata-rata sebesar 9,65 nm. Nilai konduktivita komposit PANI/PPy yang terukur sebesar 7.73x10<sup>-11</sup> S/cm. Kapasitas adsorpsi dari komposit PANI/PPy pada proses desalinasi sebesar 0,504373 mg/g yang lebih besar 3,2 kali dibandingkan dengan PANI murni, dan 1,1 kali dibandingkan dengan PPy murni, dengan kemampuan penghilangan garam sebesar 2,03%.

Kata kunci: Polianilin/polipirol, Polimerisasi Oksidatif, Capacitive Deionization, Desalinasi, Polimer Konduktif

## ABSTRACT

FEBRI RAHMADI. Synthesis of Polyaniline / Polypyrrole with Oxidative Polymerization Method as Elektrode for Adsorption-Desorption Process of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup>. Under the guidance of SETIA BUDI, YUSMANIAR

This study aims to synthesize PANI/PPy composite film to serve as an electrode on capacitive deionization (CDI) technology. Composite film PANI/PPy is synthesized by varying polypyrrole (PPy) composition by oxidative polymerization method. The synthesized PANI / PPy composite has an amorphous structure, and granular-shaped morphologically stacked, with a surface area of 44.6705 m<sup>2</sup>/g, and an average pore diameter of 9.65 nm. Conductivity value of PANI/PPy composite is measured as 7.73x10<sup>-11</sup> S/cm. The adsorption capacity of the PANI/PPy composite in the desalination process was 0,504373 mg/g greater than 3.2 times compared with pure PANI, and 1.1 times compared with pure PPy, with a salt removal ability of 2.03%.

Keywords: Polyaniline / Polypyrrolol, Oxidative Polymerization, Capacitive Deionization, Desalination, Conductive Polymer

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| KATA PENGANTAR .....   | i    |
| ABSTRAK .....  | ii   |
| ABSTRACT .....   | iii  |
| DAFTAR ISI .....   | v    |
| DAFTAR GAMBAR .....  | vi   |
| DAFTAR TABEL .....   | vii  |
| DAFTAR LAMPIRAN .....  | viii |
| BAB I PENDAHULUAN .....  | 1    |
| A. Latar Belakang .....  | 1    |
| B. Perumusan Masalah .....   | 3    |
| C. Tujuan Penelitian .....   | 4    |
| D. Manfaat Penelitian .....  | 4    |
| BAB II KAJIAN PUSTAKA .....  | 5    |
| A. Capacitive Deionization (CDI) .....                                 | 5    |
| B. Polianilin (PANI) .....   | 6    |
| C. Polipirol (PPy)/ Polianilin (PANI) .....                            | 9    |
| C.1. Konduktivitas bahan polipirol dan polianilin .....                | 10   |
| C.2. Pengaruh oksidan terhadap pembuatan PPy dan PANI .....            | 11   |
| C.3. Pengaruh komposisi PPy pada komposit PANI/PPy .....               | 12   |
| D. Polimerisasi Oksidatif .....  | 12   |
| E. Instrumen Karakterisasi .....                                       | 14   |
| 1. Scanning Elektron Microscope (SEM) .....                            | 14   |
| 2. Spektrofotometri FT-IR ( <i>Fourier Transform Infra Red</i> ) ..... | 16   |
| 3. X-Ray Diffractometer (XRD) .....                                    | 17   |
| 4. SAA ( Surface Area Analyzer) .....                                  | 18   |
| 5. LCR Meter .....   | 20   |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....                                    | 22   |
| A. Tempat dan Waktu Penelitian .....                                   | 22   |
| B. Metode Penelitian .....   | 22   |
| 1. Alat dan Bahan .....  | 23   |
| 2. Prosedur Penelitian .....   | 23   |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....                                      | 28   |
| A. Sintesis Komposit Polianilin/Polipirol .....                        | 28   |
| B. Karakterisasi Komposit PANI/PPy .....                               | 28   |

|   |    |
|---|----|
| 1. Analisa Gugus Fungsi dengan Fourier Transform Infrared (FTIR)..... | 28 |
| 2. X-Ray Diffractometer (XRD) .....                                   | 31 |
| 3. Scanning Elektron Microscope (SEM).....                            | 32 |
| 4. Surface Area Analyzer (SAA).....                                   | 34 |
| 5. LCR Meter.....   | 38 |
| 6. Test Desalinasi .....  | 39 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....                                       | 42 |
| A. Kesimpulan.....  | 42 |
| B. Saran .....  | 43 |
| DAFTAR PUSTAKA .....  | 44 |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 1. Proses adsorpsi dan desorpsi pada bahan elektroda.....       | 5  |
| Gambar 2. Skema diagram dari deionization kapasitif .....              | 6  |
| Gambar 3. Rumus umum polianilin .....                                  | 7  |
| Gambar 4. Leucoemeraldine .....  | 7  |
| Gambar 5. Emeraldine .....   | 8  |
| Gambar 6. Pernigraline .....   | 8  |
| Gambar 7. Struktur Polipirol.....                                      | 9  |
| Gambar 8. Struktur Polianilin .....                                    | 9  |
| Gambar 9. Sifat konduktif polianilin dan polipirol.....                | 10 |
| Gambar 10. Hasil PANI dan PPy pada rasio oxidant/monomer berbeda ..... | 11 |
| Gambar 11. Oksidasi aniline dan pirrole dengan oksidan APS .....       | 13 |
| Gambar 12. Profil temperatur oksidasi 0,2 M aniline dan pirrole .....  | 14 |
| Gambar 13. Morphology komposit PANI, PPy, PANI/PPy .....               | 15 |
| Gambar 14. Interaksi Antara Elektron dengan Permukaan Sampel.....      | 16 |
| Gambar 15. Spectrum FTIR dari pembuatan PANI, PPy, PANI/PPy .....      | 17 |
| Gambar 16. Pola XRD PANI, PPy, dan komposit PANI/PPy.....              | 18 |
| Gambar 17. Klasifikasi isotherm adsorpsi berdasarkan IUPAC.....        | 19 |
| Gambar 18. LCR HiTESTER HIOKI 3532 .....                               | 21 |
| Gambar 19. Spektrum FTIR PANI, PANI/PPy, dan PPy .....                 | 29 |
| Gambar 20. XRD sampel polianilin, polipirol, dan PANI/PPy .....        | 31 |
| Gambar 21. Gambar SEM PANI/PPy .....                                   | 33 |
| Gambar 22. Grafik luas permukaan PANI, PPy, PANI/PPy .....             | 34 |
| Gambar 23. Isotherm adsorpsi-desorpsi nitrogen pada PANI/PPy.....      | 36 |
| Gambar 24. Grafik distribusi pori Komposit PANI/PPy 50:50% .....       | 37 |
| Gambar 25. Kurva konduktivitas sampel PANI, PPy, PANI/PPy .....        | 38 |
| Gambar 26. Kurva Adsorpsi Desorpsi NaCl.....                           | 40 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 1. Karakteristik film tipis komposit PPy/PANI ..... | 12 |
| Tabel 2. Luas permukaan komposit PANI/PPy .....           | 20 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|   |    |
|---|----|
| Lampiran 1. Bagan Kerja .....                                   | 49 |
| Lampiran 2. Data FTIR .....                                     | 53 |
| Lampiran 3. Data SAA.....                                       | 55 |
| Lampiran 4. Perhitungan kapasitas adsorpsi PANI/PPy 50:50%..... | 58 |
| Lampiran 5. Data Rangkaian Alat CDI .....                       | 59 |

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Akhir-akhir ini permasalahan mengenai air bersih di Indonesia semakin memprihatinkan. Sebagian besar cadangan air di Indonesia telah tercemar oleh zat organik dan anorganik yang berasal dari limbah industri dan perilaku masyarakat yang tidak memperhatikan kebersihan lingkungan. Sehingga mengakibatkan semakin meningkatnya krisis air bersih yang terjadi di berbagai daerah, efek dari perubahan iklim yang tidak menentu. Sehingga dibutuhkan suatu teknologi pengolahan air yang tepat agar cadangan air yang ada dapat dioptimalkan pemanfaatannya (Kementrian Lingkungan Hidup 2012)

Salah satu teknologi yang tepat untuk mengatasi masalah mengenai air bersih adalah teknologi *capasitive deionization* (CDI) karena kelebihanannya dibidang hemat energi dan ramah lingkungan dibandingkan dengan teknologi tradisional seperti destilasi, elektrodialisis, *reverse osmosis*, dan teknologi desalinasi lainnya. Selain digunakan dalam proses desalinasi, CDI juga dapat digunakan sebagai teknologi untuk penghilangan logam berat, dan remediasi air tanah (Porada *et al.* 2013; Zhao *et al.* 2013; Diaz *et al.* n.d.; Yoon *et al.* 2016). CDI merupakan suatu teknologi pengolahan air dengan cara mengadsorpsi ion bermuatan dengan bantuan elektroda yang diberikan medan listrik eksternal. Proses transfer ion pada CDI dari larutan air kepermukaan elektroda dilakukan berdasarkan penyerapan ion secara elektrostatis (Suss *et al.* 2015).

Sebuah sel CDI tersusun dari dua elektroda yang disusun secara parallel, yang prinsip kerjanya dalam pemurnian air adalah dimana proses adsorpsi dan desorpsi ion bermuatan oleh elektroda berlangsung secara terus menerus secara bergantian, sehingga didapatkan larutan dengan konsentrasi ion tidak diinginkan yang rendah. Proses adsorpsi dilakukan dengan memberikan arus listrik pada elektroda, sedangkan proses desorpsi dilakukan tanpa memberikan arus listrik,

yang bertujuan untuk meregenerasi elektroda (Porada *et al.* 2013; Anderson *et al.* 2010).

Bahan dasar yang biasa digunakan untuk elektroda pada teknologi CDI adalah serat karbon aktif, karbon mesopori, karbon aerogel, *carbon sphere*, graphite, dan karbon nanotube (Xu *et al.* 2016; Daer *et al.* 2015; Liu *et al.* 2012). Penggunaan bahan karbon sebagai elektroda memiliki keterbatasan dalam mengadsorpsi ion bermuatan dalam air, dimana kemampuan adsorpsi dari bahan karbon hanya terjadi pada bagian permukaan bahan, yang membatasi aplikasi lebih luas dari bahan tersebut, serta tidak stabil dalam beberapa keadaan dan siklus (Sari & Endarko 2015). Salah satu bahan yang berpotensi untuk menggantikan bahan karbon sebagai elektroda adalah bahan metal oksida dan polimer konduktif, namun karena tingginya biaya sintesis dan konsumsi daya dari sintesis metal oksida, serta pencemaran lingkungan yang dapat terjadi akibat limbah yang dihasilkan selama proses sintesis metal oksida, sehingga polimer konduktif sangat berpotensi untuk menggantikan bahan karbon sebagai elektroda karena kemampuan adsorpsi yang lebih baik dari bahan karbon, luas permukaan spesifik yang besar, serta konduktivitas yang besar, dan proses sintesis yang mudah untuk diproduksi secara masal menggunakan metode polimerisasi oksidatif (Xie & Wang 2016; Seabra & Durán 2015).

Faktor yang mempengaruhi kemampuan adsorpsi dari suatu elektroda untuk meningkatkan teknologi capacitive deionization antara lain luas permukaan, distribusi pori, ukuran pori, serta konduktivitas dari bahan penyusun elektroda, sehingga polimer konduktif sangat berpotensi untuk menggantikan bahan karbon sebagai elektroda untuk teknologi *capacitive deionization* (Jia & Zhang 2016). Beberapa contoh dari bahan polimer konduktif antara lain polipirol (PPy) dan polianilin (PANI). PANI adalah salah satu bahan yang banyak dikaji akhir-akhir ini karena sifat fisika dan kimianya yang khas sehingga memiliki potensi aplikasi yang luas. Bahan polimer konduktif ini dapat mengalami perubahan sifat listrik dan optic yang dapat kembali (*reversible*) melalui reaksi redoks dan doping-dedoping atau protonasi deprotonasi sehingga sangat potensial dimanfaatkan

dalam berbagai aplikasi seperti optoelektronik, biosensor, *electrochromic displays*, dan sensor kimia (Abdulla & Abbo 2012).

Aplikasi lain dari kedua bahan polimer konduktif tersebut adalah untuk teknologi pemurnian air dengan mensintesis komposit polipirol/polianilin sebagai elektroda pada teknologi *capacitive deionization* (Wang *et al.* 2015). Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan mengenai polimer konduktif polianilin dan polipirol bahwa bahan konduktif tersebut dapat ditingkatkan kapasitas spesifik, konduktivitas, serta luas permukaan komposit yang dihasilkan, dengan memperbesar rasio PPy dalam komposit PANI/PPy (Velhal *et al.* 2014).

PPy merupakan bahan yang paling menjanjikan untuk aplikasi multifungsi karena stabilitas lingkungan yang baik dan konduktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan polimer konduktif lainnya (Ahmed *et al.* 2015). Sehingga berdasarkan sifat diatas dengan mengkompositkan PPy dengan PANI dalam campuran komposit film PANI/PPy diharapkan dapat meningkatkan sifat fisika dan kimia yang lebih baik dari bahan PANI murni, atau PPy murni (Velhal *et al.* 2014).

Pada penelitian ini dilakukan dengan membuat PANI murni, PPy murni, selanjutnya komposit PANI/PPy. PANI murni, PPy murni, dan komposit PANI/PPy disintesis melalui metode polimerisasi oksidatif. Komposit PANI/PPy disintesis dengan memvariasikan konsentrasi PPy pada komposit PANI/PPy.

## **B. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat diidentifikasi masalah-masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik film komposit PANI/PPy yang disintesis ?
2. Apakah PPy dapat meningkatkan konduktivitas PANI dalam film komposit PANI/PPy ?
3. Bagaimana pengaruh rasio PPy terhadap luas permukaan spesifik, film komposit PANI/PPy yang disintesis ?
4. Bagaimana kemampuan adsorpsi-desorpsi ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  pada komposit PANI/PPy pada teknologi *capacitive deionization*?

Berdasarkan permasalahan di atas, maka penelitian ini dibatasi pada sintesis PANI, PPy, dan komposit PANI/PPy, dengan variasi konsentrasi polipirol pada sintesis komposit PANI/PPy dengan metode polimerisasi oksidatif, karakterisasi luas permukaan spesifik, konduktivitas, kristalinitas, dan morfologi PANI, PPy, dan film komposit PANI/PPy, serta mengetahui kemampuan adsorpsi-desorpsi  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  film komposit PANI/PPy, PANI murni, dan PPy murni hasil sintesis pada proses desalinasi.

Berdasarkan pembatasan masalah yang telah dituliskan, maka didapatkan rumusan masalah, yaitu “Bagaimana pengaruh rasio PPy pada komposit PANI/PPy terhadap konduktivitas, luas permukaan, dan kemampuan adsorpsi-desorpsi ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  dibandingkan dengan PANI murni, dan PPy murni ?”

### **C. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis film komposit PANI/PPy dengan metode polimerisasi oksidatif, mengetahui karakteristik film komposit PANI/PPy yang disintesis, dan mengetahui pengaruh rasio polipirol pada komposit PANI/PPy untuk meningkatkan kinerja adsorpsi-desorpsi ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  pada proses desalinasi dengan teknologi CDI, dibandingkan dengan PANI murni, maupun PPy murni.

### **D. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah diharapkan dapat memberikan informasi mengenai luas permukaan, sifat konduktivitas, dan kemampuan adsorpsi-desorpsi komposit film PANI/PPy yang disintesis dengan metode polimerisasi oksidatif. Menghasilkan produk elektroda film komposit PANI/PPy yang memiliki sifat yang lebih baik dibanding dengan elektroda film PANI dan PPy murni. Hal tersebut dapat menjadikan film komposit PANI/PPy yang disintesis dapat diaplikasikan sebagai elektroda pada proses desalinasi dalam teknologi CDI.

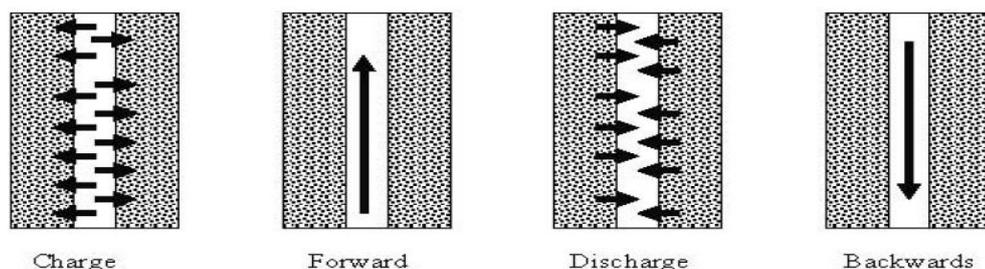
## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### A. *Capacitive Deionization (CDI)*

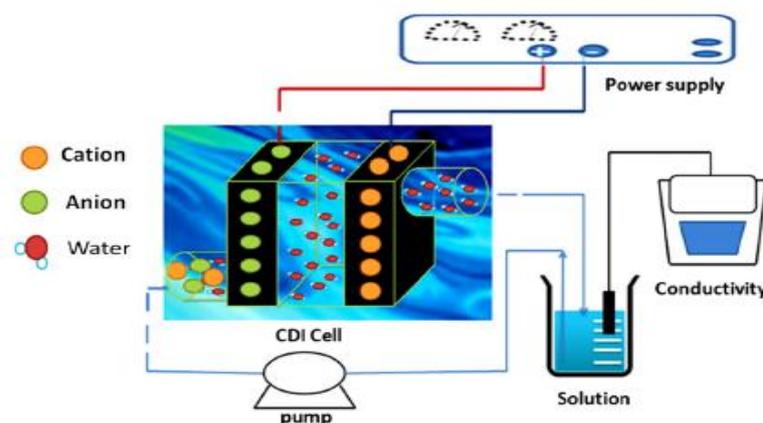
CDI adalah sebuah teknologi baru untuk pengolahan air dengan cara menghilangkan atau mengadsorpsi ion bermuatan di dalam air dengan menggunakan bantuan elektroda, teknologi ini sedang banyak digunakan untuk proses desalinasi air. Teknologi ini didasarkan pada elektroadsorpsi ion pada permukaan sepasang elektroda yang diberikan muatan listrik, yang pada umumnya berbahan dasar karbon (Suss *et al.* 2015). Teknologi pemisahan seperti elektrodialisis (ED) dan *capacitive deionization* (CDI) dapat secara efektif memisahkan ion bermuatan dalam air, terutama untuk menghilangkan tingkat ion yang terlarut yang sangat rendah. Pada dasarnya proses transfer ion pada CDI dari larutan air ke permukaan elektroda dilakukan dengan memberikan medan listrik eksternal pada sepasang elektroda. Ion bermuatan positif dan negatif kemudian akan terserap secara elektrostatis, masing-masing kekatoda dan anoda.

Sebuah sel CDI dibuat menggunakan dua elektroda yang disusun secara parallel, yang prinsip kerjanya dapat digambarkan seperti proses adsorpsi dan desorpsi bergantian secara teratur. Selama proses adsorpsi, tegangan arus rendah diberikan pada sel, dan ion dalam larutan akan teradsorpsi pada permukaan elektroda. Ketika elektroda mulai jenuh, kemudian tegangan sel dihilangkan, pada tahap ini ion yang teradsorpsi dilepaskan kembali ke larutan dan elektroda diregenerasi seperti yang ditampilkan pada gambar 1.



**Gambar 1.** Proses adsorpsi dan desorpsi pada bahan elektroda (Journal of the Electrochemical Society)

Lapisan listrik ganda (EDL) terbentuk pada permukaan elektroda dan bertindak sebagai kapasitor. Kinerja dari CDI sangat bergantung pada konduktivitas elektronik, luas permukaan spesifik, dan distribusi ukuran pori dari bahan elektroda. Teknologi CDI umumnya menggunakan sepasang elektroda yang berbahan dasar karbon pada proses desalinasi. Bahan karbon yang digunakan umumnya adalah *activated carbon fibers*, *hierarchical porous carbon*, *carbon nano tube* (CNT), dan *ordered mesoporous carbon*. Dari segi konsumsi energi dari teknologi CDI, pada tegangan rendah (0,8-1,2 V) sudah cukup untuk dilakukannya proses elektroadsorpsi. Selain itu tidak seperti *reverse osmosis*, CDI tidak memerlukan tekanan tinggi untuk proses pemisahan dan pemurnian air. Teknologi ini juga memiliki beberapa keuntungan diantaranya biaya yang relatif rendah, tidak perlu menambahkan pompa tekanan tinggi atau sumber panas, hemat energi, dan lebih ramah lingkungan. Oleh karena itu, teknologi CDI telah banyak digunakan dalam proses desalinasi, penghilangan logam berat, remediasi air tanah, dll. Kinerja desalinasi sel CDI diuji dalam sistem eksperimental ditunjukkan pada gambar 2.

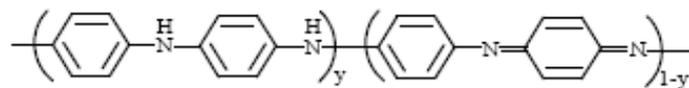


**Gambar 2.** Skema diagram dari deionization kapasitif (Lu et al. 2016)

## B. Polianilin (PANI)

Polianilin adalah suatu molekul besar yang tersusun oleh monomer-monomer anilin yang berikatan kovalen. Penggabungan monomer-monomer anilin akan membentuk cincin-cincin benzoid (B) dan quinoid (Q) yang

dihubungkan satu dengan lainnya oleh atom nitrogen (N) melalui ikatan amin dan ikatan imin (Kusumawati *et al.* 2008). Aniline merupakan senyawa organik dengan rumus kimia  $C_6H_7N$  yang mempunyai berat molekul 93 g/mol, titik didih 183-186°C, dengan rapat massa 1,002 Kg/liter. Struktur umum dari molekul polimer polianilin ditunjukkan pada gambar berikut :



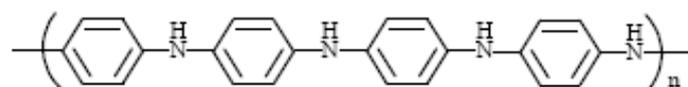
**Gambar 3.** Rumus umum polianilin (Yilmaz 2007)

Berdasarkan struktur tersebut diketahui bahwa polianilin memiliki dua gugus berulang, yaitu gugus tereduksi ( $y$ ), dan gugus teroksidasi ( $1-y$ ). Nilai  $y$  dalam gambar 3 menyatakan tingkat oksidasi dari polianilin yang nilainya berkisar antara 0 sampai 1. Apabila nilai  $y = 0$  maka polianilin memiliki struktur *pernigriline base* (PB) karena berada dalam tingkat teroksidasi penuh, sedangkan apabila nilai  $y = 0,5$ , maka polianilin memiliki struktur *emeraldine*, karena berada dalam tingkat teroksidasi sebagian, dan apabila nilai  $y = 1$  maka polianilin memiliki struktur *leucoemeraldine base* (LB), karena memiliki tingkat tereduksi penuh (Kusumawati *et al.* 2008)

Berdasarkan kondisi oksidasinya, polianilin dapat dibagi menjadi beberapa kondisi, yaitu:

#### 1. *Leucoemeraldine*

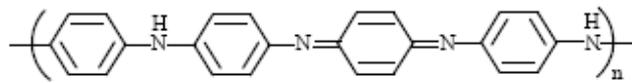
*Leucoemeraldine* merupakan polianilin non-doping yang tereduksi seluruhnya.



**Gambar 4.** *Leucoemeraldine Base* (Yilmaz 2007)

#### 2. *Emeraldine*

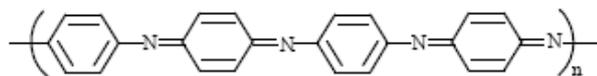
Polianilin dengan kondisi oksidasi sedang dan hanya pada kondisi oksidasi ini polianilin memiliki sifat konduktif, khususnya pada bentuk garam *emeraldine* dimana *emeraldine* terprotonasi dan menghasilkan pembawa muatan.



**Gambar 5.** *Emeraldine* (Yilmaz 2007)

### 3. *Pernigraniline*

*Pernigraniline* merupakan polianilin dalam bentuk teroksidasi seluruhnya melalui oksidasi sempurna polianilin dengan zat antara berupa nigraniline. Dalam kondisi oksidasi ini polianilin tidak konduktif.



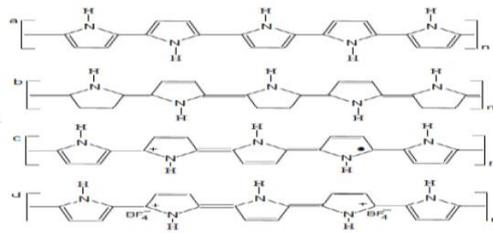
**Gambar 6.** *Pernigraniline* (Yilmaz 2007)

Sifat konduktif yang muncul pada polimer seperti polianilin ini terjadi karena pada polimer terdapat ikatan tunggal (ikatan  $\sigma$ ) dan ikatan rangkap dua (ikatan  $\pi$ ). Pada elektron diikatan rangkap dua (ikatan  $\pi$ ) terkonjugasi sangat mudah terdelokalisasi dan mudah terpolarisasi, sehingga berperan dalam membawa muatan listrik yang dikenakan terhadap polimer tersebut dan berperan pula dalam proses eksitasi elektron yang akan berkaitan dengan sifat optiknya. Selain karena memiliki sistem yang kaya elektron  $\pi$ , beberapa sifat dari polimer juga mempengaruhi sifat konduktifnya seperti struktur, variasi gugus yang diinduksi oleh muatan dalam polimer, dan sifat morfologi serta kristalinitas polimer.

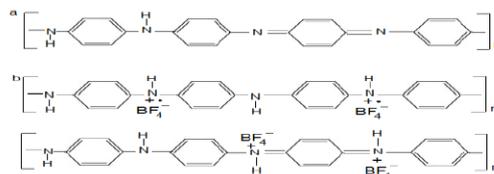
Polianilin dapat disintesis dengan menggunakan metode kimia biasa, yaitu menggunakan monomer anilin, asam dan oksidan. Asam yang biasa digunakan adalah asam klorida (HCl) dan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Sebagai oksidan digunakan ammonium peroksidisulfat ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>), potasium dikromat (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O), serium sulfat (Ce(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>), natrium vanadat (NaVO), potasium ferisianida (K<sub>3</sub>(Fe(CN)<sub>6</sub>)), potasium iodat (KIO) dan hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (Mihardi 2008)

### C. Polipirol (PPy)/ Polianilin (PANI)

Polipirol dan polianilin merupakan dua jenis contoh bahan polimer konduktif. Polipirol dan polianilin dapat dibentuk berdasarkan reaksi kimia atau elektrokimia berdasarkan polimerisasi oksidasi dari monomer pirol dan anilin, hasil akhir dari polipirol dan polianilin adalah rantai panjang terkonjugasi seperti yang terlihat pada gambar 7 dan 8. Pada keadaan netral PPy dan PANI tidak bersifat konduktif, konduktivitas dari PPy dan PANI pada keadaan netral sebesar  $\approx 10^{-10}$  (S/cm), bahan tersebut kembali konduktif pada keadaan teroksidasi, besar konduktivitas dari bahan PPy dan PANI masing-masing sebesar  $10^{-3}$  -  $10^2$  dan  $10^1$  (S/cm). Muatan yang dihasilkan pada polimer dalam keadaan teroksidasi, karena beberapa unit dari polimer tersebut terdelokalisasi membentuk kation radikal (polaron) atau sebuah dikation (Bipolaron), sehingga polimer tersebut bersifat konduktif.



**Gambar 7.** (a) Aromatic (b) pembentukan quinon dan hasil dari oksidasi (c) keadaan polaron (d) keadaan bipolaron (Abdulla & Abbo 2012)



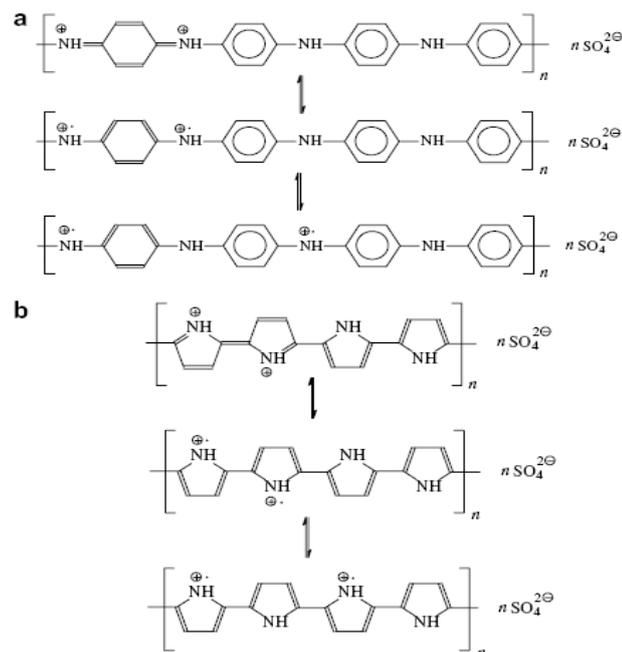
**Gambar 8.** (a) Pembentukan emeraldine dari PANI (b) dengan keadaan polaron (c) dengan keadaan bipolaron (Abdulla & Abbo 2012)

Polimer konduktif memiliki sifat mekanik dan elektrik yang baik dan dapat diproduksi secara terus menerus menggunakan teknik elektrokimia sebagai film yang fleksibel ataupun secara metode kimia. Bentuk fisik dari polimer konduktif polipirol dan polianilin biasanya berbentuk serbuk yang keras dari hasil polimerisasi kimia atau film hasil elektropolimerisasi. Metode elektrokimia untuk

pembuatan polimer konduktif polipirol dan polianilin memiliki kelebihan dalam kemudahan mengontrol morfologi dan sifat elektrik dari bahan yang dihasilkan, namun sulit untuk diproduksi secara massal untuk kepentingan komersial (Abdulla & Abbo 2012).

### C.1. Konduktivitas bahan polipirol dan polianilin

Konduktivitas merupakan sifat yang paling penting pada polimer konduktif. Sifat konduktivitas dari suatu material ditentukan oleh keadaan elektronik, morfologi, sifat kimia dari suatu polimer, serta substituen yang ditambahkan kedalam rantai suatu polimer. Pada umumnya suatu polimer hanya memiliki ikatan sigma pada rantainya, sedangkan pada polimer konduktif terdapat suatu ikatan  $\pi$  yang terkonjugasi, yang memungkinkan elektron terdelokalisasi dan mampu bergerak bebas diantara atom.



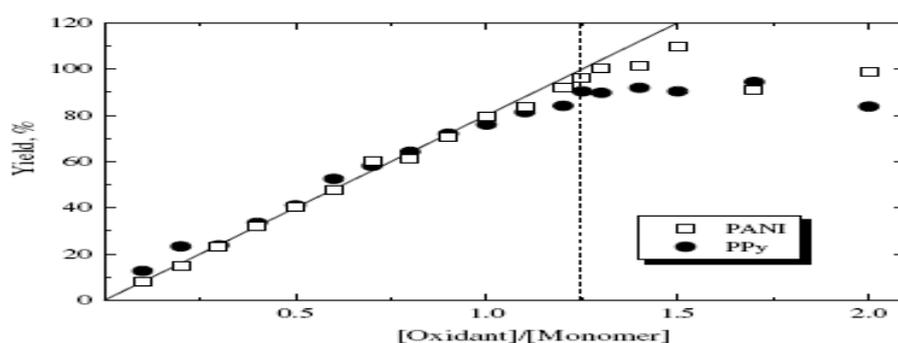
**Gambar 9.** (a) Dua elektron pada garam PANI diinjeksikan menjadi quinon (bagian atas), kemudian diubah menjadi cincin benzene (bagian tengah), Sisa elektron yang tidak berpasangan terbentuk sebagai polaron yang akan terdelokalisasi sepanjang rantai polimer (bagian bawah). (b) Skenario serupa dapat terjadi pada polipirol. (Blinova *et al.* 2007).

Sifat konduktif dari PANI dan PPy dilihat dari kemampuannya membentuk polaron, radikal kation seperti yang terlihat pada gambar 9. Empat

ikatan ganda yang merupakan unit dari quinon pada PANI diubah menjadi tiga ikatan ganda dalam cincin benzena dan dua elektron tak berpasangan yang bertindak sebagai pembawa muatan. Polaron yang terbentuk kemudian dapat tersebar dalam rantai polimer dan menghasilkan kisi polaron, yang memungkinkan muatan dapat mengalir pada suatu polimer.

## C.2. Pengaruh oksidan terhadap pembuatan PPy dan PANI

Pada pembuatan polimer polianilin dan polipirol biasa menggunakan oksidan APS untuk mengoksidasi anilin dan pirol, untuk membuat suatu polaron atau bipolaran yang kemudian akan tersebar pada rantai polimer yang kemudian membentuk kisi polaron, sehingga muatan dapat mengalir pada polimer. Apabila rasio molar dari APS meningkat secara bertahap maka polianilin yang dihasilkan juga akan meningkat seperti pada gambar 10. Pada rasio 1,25 diharapkan semua aniline telah bereaksi. Peningkatan rasio APS lebih tinggi tidak menyebabkan peningkatan pada hasil dari polianilin, melainkan menyebabkan penurunan akibat dari oksidasi yang berlebihan yang akan mengubah bagian dari polianilin menjadi quinon. Ketika APS digunakan sebagai oksidan pada pembuatan polipirol dan polianilin, maka konduktivitas dari PANI lebih besar dibandingkan dengan PPy. Jika  $\text{FeCl}_3$  digunakan sebagai oksidan pada pembuatan polipirol dan polianilin, maka konduktivitas dari polipirol lebih besar dari polianilin.



**Gambar 10.** Hasil dari PANI dan PPy disiapkan pada rasio oxidant/monomer yang berbeda. Oksidasi dari 0,2 M larutan monomer oleh ammonium peroxydisulfate (APS) dalam 0,2 M HCl dan dimulai pada suhu 20°C (Blinova *et al.* 2007).

### C 3. Pengaruh komposisi PPy pada komposit PANI/PPy

Polianilin dapat ditingkatkan konduktifitasnya dengan cara penggantian oksidasinya, memberikan doping atau dengan mencampurnya dengan suatu bahan konduktif seperti polipirol untuk dijadikan suatu komposit. PPy merupakan salah satu bahan yang paling menjanjikan untuk aplikasi multifungsi karena stabilitas lingkungan yang baik dan konduktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan polimer lainnya (Ahmed *et al.* 2015).

**Tabel 1.** Ketebalan, resistivitas, dan konduktifitas film tipis komposit PPy/PANI (Velhal *et al.* 2014)

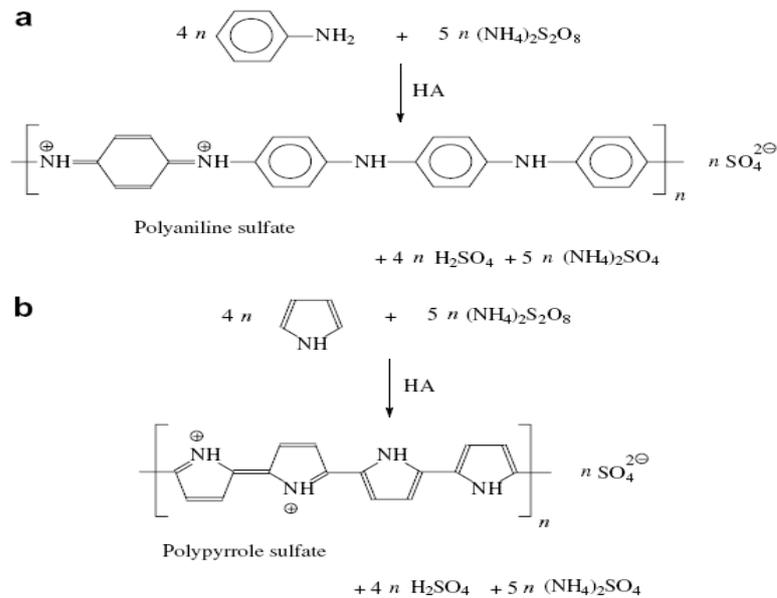
| Ketebalan<br>( $\mu\text{m}$ ) %<br>Konsentrasi<br>Ppy/PANI | Resistivitas ( $\Omega \text{ cm}$ ) |       |       | DC Konduktivitas $\times 10^{-3}$<br>(S/cm) |       |       |
|---|--------------------------------------|-------|-------|---|-------|-------|
|   | 90-10                                | 70-30 | 50-50 | 90-10                                       | 70-30 | 50-50 |
| 3.2   | 15.68                                | 18.97 | 31.15 | 64  | 52.7  | 32.1  |
| 8.2   | 12.82                                | 16.05 | 17.21 | 78  | 62.3  | 58.1  |
| 12  | 6.99                                 | 8.07  | 8.77  | 143   | 124   | 114   |
| 13  | 3.66                                 | 4.29  | 4.37  | 273   | 233   | 229   |

Konduktivitas dari suatu bahan komposit PPy/PANI yang dihasilkan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi PPy yang dicampurkan, seperti yang ditampilkan pada tabel 1. Serta kemampuan adsorpsi dari suatu bahan komposit yang dihasilkan dapat meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi polipirol yang ditambahkan (Velhal *et al.* 2014).

### D. Polimerisasi Oksidatif

Polimerisasi oksidatif adalah proses pembentukan polimer dengan bantuan zat pengoksidasi, untuk mengoksidasi monomer untuk membuat suatu polimer konduktif. Oksidasi anilin dengan APS akan menghasilkan Polianilin (PANI), sedangkan oksidasi pirol dengan  $\text{FeCl}_3$  akan menghasilkan Polipirol (PPy). Ketika APS digunakan sebagai oksidan pada pembuatan polipirol dan polianilin, maka konduktivitas dari PANI lebih besar dibandingkan dengan PPy. Jika  $\text{FeCl}_3$  digunakan sebagai oksidan pada pembuatan polipirol dan polianilin, maka

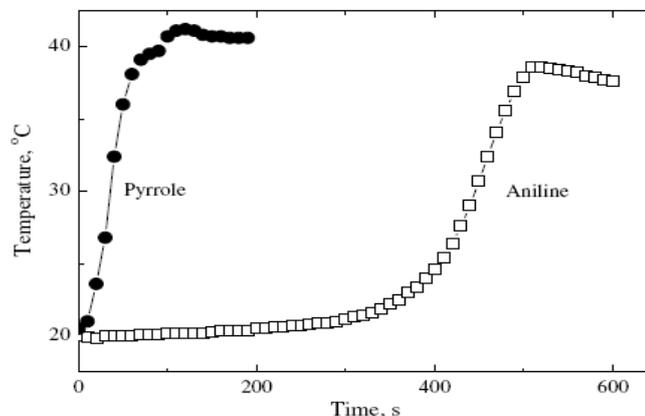
konduktivitas dari polipirol lebih besar dari polianilin (Blinova *et al.* 2007). Proses pembentukan polimer PANI dan PPy menggunakan oksidan APS ditampilkan pada gambar 11.



**Gambar 11.** (a) oksidasi dari anilin menggunakan oksidan APS dalam media asam membentuk PANI, (b) oksidasi pyrrol menggunakan oksidan APS dalam media asam membentuk PPy (Blinova *et al.* 2007).

Polimerisasi dari 0,2 M aniline dengan 0,25 M APS pada 0,2 M asam klorida ditandai dengan periode induksi thermal diikuti dengan polimerisasi eksoterm selama suhu reaksi campuran terus meningkat, seperti yang ditampilkan pada gambar 12. Setelah oksidasi telah selesai, panas yang dihasilkan bertahap menurun, dan campuran kemudian mendingin.

Tidak adanya periode induksi merupakan ciri khas dari oksidasi pirol, anilin juga berperilaku sama dengan oksidasi pirol apabila proses oksidasi anilin berada dalam air atau pada media asam dengan konsentrasi rendah, dimana anilin berada dalam kondisi netral. Pada kondisi tersebut anilin lebih mudah dioksidasi dibandingkan dengan kation anilinium yang mendominasi pada kondisi asam dengan konsentrasi yang lebih tinggi. (Blinova *et al.* 2007).



**Gambar 12.** Profil temperatur oksidasi 0,2 M aniline (kotak terbuka) dan pirol (lingkaran penuh) dengan 0.25M ammonium peroksodisulfat di 0,2 M HCl (Blinova *et al.* 2007).

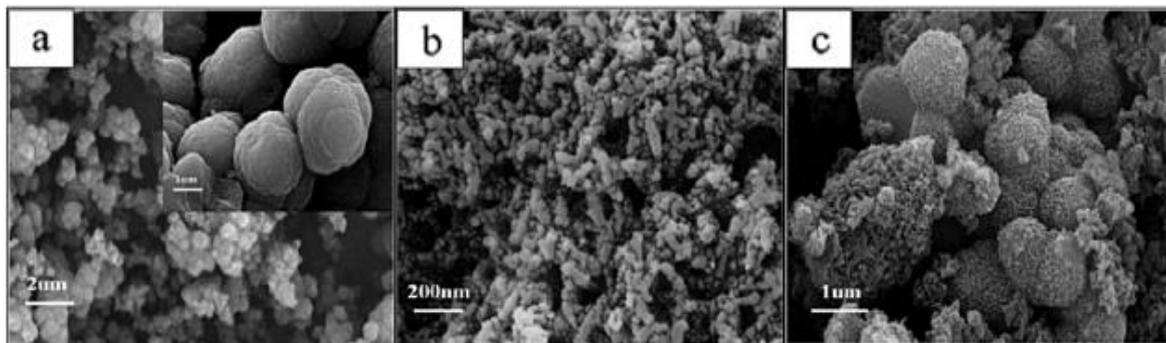
## E. Instrumen Karakterisasi

### 1. Scanning Elektron Microscope (SEM)

*Scanning Electron Microscope* (SEM) merupakan salah satu alat untuk mengkarakterisasi struktur atau morfologi dari suatu sampel yang dihasilkan pada suatu penelitian. SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambar profil permukaan benda. SEM bekerja berdasarkan prinsip scan sinar elektron pada permukaan sampel, yang selanjutnya informasi yang didapatkan diubah menjadi gambar. Morfologi komposit PANI/PPy yang dikarakterisasi menggunakan SEM ditampilkan pada gambar 13.

Pada SEM, gambar dibuat berdasarkan deteksi elektron baru (elektron sekunder) atau elektron pantul yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel tersebut discan dengan sinar elektron. Elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor *Cathode Ray Tube* (CRT). Di layar CRT inilah gambar struktur obyek yang sudah diperbesar bisa dilihat. Pada proses operasinya, SEM tidak memerlukan sampel

yang ditipiskan, sehingga bisa digunakan untuk melihat obyek dari sudut pandang 3 dimensi.

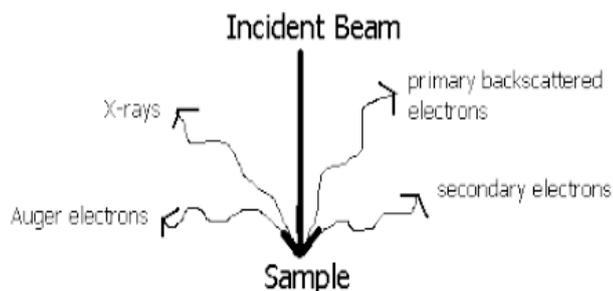


**Gambar 13.** Gambar SEM dari PPy (a), PANI (b), komposit PANI/PPy (c) (Lei *et al.* 2014)

Ada beberapa sinyal yang penting yang dihasilkan oleh SEM. Dari pantulan inelastis didapatkan sinyal *secondary electron* dan karakteristik sinar X sedangkan dari pantulan elastis didapatkan sinyal *backscattered electron*. Perbedaan dari sinyal *secondary electron* dengan *backscattered electron* adalah *secondary electron* memberikan informasi topografi dari benda yang dianalisa, permukaan yang tinggi berwarna lebih cerah dari permukaan rendah. Sedangkan *backscattered electron* memberikan perbedaan berat molekul dari atom – atom yang menyusun permukaan, atom dengan berat molekul tinggi akan berwarna lebih cerah daripada atom dengan berat molekul rendah. Kedua sinyal inilah yang akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor CRT (Alyamani & Lemine 2012; Triwibowo 2011).

Prinsip kerja dari SEM yaitu *electron gun* menghasilkan *electron beam* dari filamen. *Electron gun* yang digunakan adalah *tungsten hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan tungsten yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan yang diberikan kepada lilitan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron menuju anoda. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel. Sinar elektron yang terfokus menscan keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil scanning. Ketika elektron mengenai sampel, maka akan terjadi hamburan elektron, baik *Secondary Electron (SE)* atau *Back Scattered Electron (BSE)* dari

permukaan sampel dan akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor CRT. Penjelasan prinsip kerja SEM diatas dapat dilihat pada gambar 14.



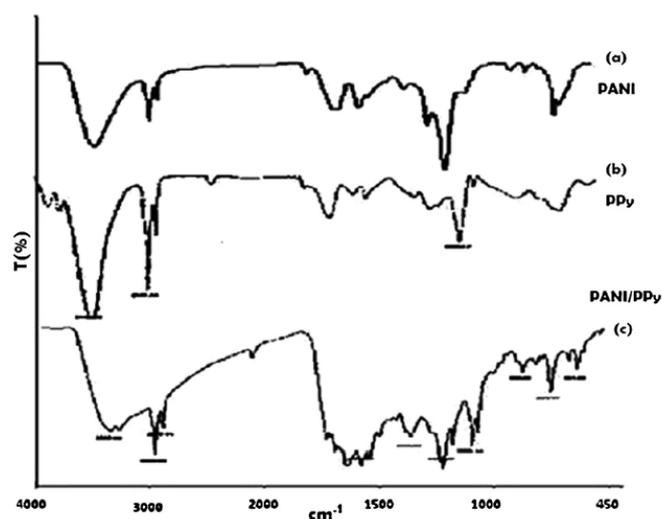
**Gambar 14.** Interaksi Antara Elektron dengan Permukaan Sampel (Triwibowo 2011)

## 2. Spektrofotometri FT-IR (*Fourier Transform Infra Red*)

Spektrofotometri FT-IR merupakan alat yang biasa digunakan untuk menentukan gugus fungsional, pengenalan senyawa, dan analisis campuran. Analisis dilakukan dengan melihat bentuk spektrumnya yaitu dengan melihat puncak-puncak spesifik yang menunjukkan jenis gugus fungsional yang dimiliki oleh senyawa tersebut. Sedangkan analisis kuantitatif dapat dilakukan dengan menggunakan senyawa standar yang dibuat spektrumnya pada berbagai variasi konsentrasi.

Dalam teknik ini padatan diuji dengan cara merefleksikan sinar infra merah yang melalui tempat kristal sehingga terjadi kontak dengan permukaan cuplikan. Degradasi atau induksi oleh oksidasi, panas, maupun cahaya, dapat diikuti dengan cepat melalui infra merah. Sensitivitas FTIR adalah 80-200 kali lebih tinggi dari instrumentasi dispersi standar karena resolusinya lebih tinggi. Teknik pengoperasian FTIR berbeda dengan spektrofotometer infra merah. Pada FTIR digunakan suatu *Interferometer Michelson* sebagai pengganti monokromator yang terletak di depan monokromator. *Interferometer* ini akan memberikan sinyal ke detektor sesuai dengan intensitas frekuensi vibrasi molekul yang berupa *interferogram*.

*Interferogram* juga memberikan informasi berdasarkan pada intensitas spektrum dari setiap frekuensi. Informasi yang keluar dari detektor diubah secara digital dalam komputer dan ditransformasikan sebagai domain, tiap-tiap satuan frekuensi dipilih dari *interferogram* yang lengkap (*fourier transform*). Kemudian sinyal itu diubah menjadi spektrum IR sederhana. Contoh gambar spectrum FTIR dan gugus fungsi dari PANI, PPy, dan komposit PANI/PPy ditampilkan pada gambar 15.



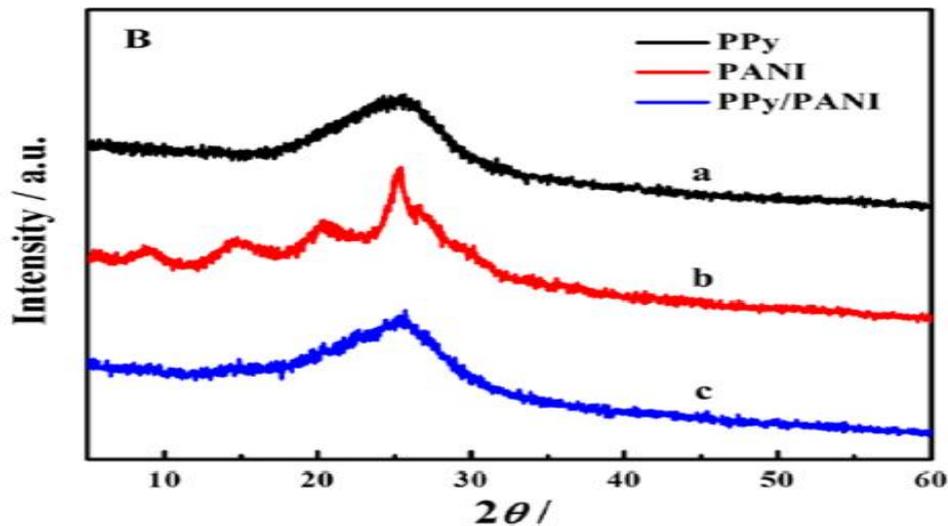
**Gambar 15.** Spectrum FTIR dari pembuatan (a) PANI, (b) PPy, dan (c) komposit PANI/PPy (Velhal *et al.* 2014)

### 3. Difraksi Sinar X (XRD)

Metode difraksi sinar-X adalah salah satu cara untuk mempelajari keteraturan atom atau molekul dalam suatu struktur tertentu. Jika struktur atom atau molekul tertata secara teratur membentuk kisi, maka radiasi elektromagnetik pada kondisi eksperimen tertentu akan mengalami penguatan. Pengetahuan tentang kondisi eksperimen itu dapat memberikan informasi yang sangat berharga tentang penataan atom atau molekul dalam suatu struktur.

Hasil pengukurannya disebut sebagai pola difraksi sinar- X dari sampel. Analisis komputer dari posisi peak dan intensitas yang terkait dengan pola ini memungkinkan analisis kualitatif. Analisis kualitatif dapat dilakukan berdasarkan tinggi peak atau luas puncak. Sudut dan profil peak dapat digunakan untuk menentukan diameter partikel dan derajat kristalinitas serta berguna dalam

melakukan analisis X-ray pada struktur tertentu (nishikicho 2013). Bentuk pola XRD dari polipirol, polianilin dan komposit PANI/PPy ditampilkan pada gambar 16.



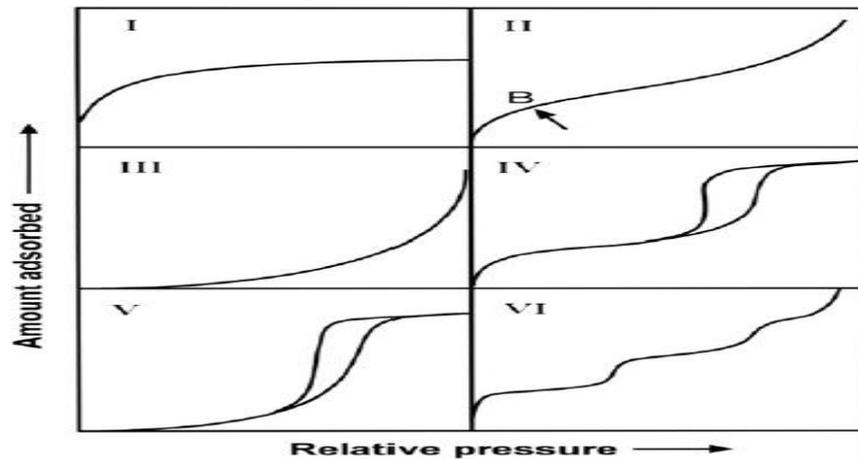
Gambar 16. Pola XRD PANI, PPy, dan komposit PANI/PPy (Lei *et al.* 2014)

#### 4. SAA (*Surface Area Analyzer*)

*Surface Area Analyzer* (SAA) merupakan salah satu alat utama dalam karakterisasi material. Alat ini khususnya berfungsi untuk menentukan luas permukaan material, distribusi pori dari material dan isotherm adsorpsi suatu gas pada suatu bahan. Alat ini prinsip kerjanya menggunakan mekanisme adsorpsi gas, umumnya nitrogen, argon dan helium, pada permukaan suatu bahan padat yang akan dikarakterisasi pada suhu konstan biasanya suhu didih dari gas tersebut. Alat tersebut pada dasarnya hanya mengukur jumlah gas yang dapat diserap oleh suatu permukaan padatan pada tekanan dan suhu tertentu.

Setiap siklus adsorpsi dan desorpsi menghasilkan variasi data tekanan proses, yang dengan hukum gas ideal  $PV=NRT$  sebagai fungsi volume gas. Dengan memasukkan sejumlah volume gas nitrogen yang diketahui kedalam tabung sampel, maka sensor tekanan akan memberikan data tekanan proses yang bervariasi. Data volume gas yang dimasukkan yang telah diketahui jumlahnya dan data hasil kenaikan tekanan dibuat sebagai persamaan BET yang dipakai sebagai dasar perhitungan luas permukaan serbuk.

Berdasarkan Brunauer, Demming, dan Teller (BDDT), mengklasifikasikan enam isotherm adsorpsi berdasarkan IUPAC seperti yang ditampilkan pada gambar 17 :



**Gambar 17.** Klasifikasi isotherm adsorpsi berdasarkan IUPAC

Isotherm adsorpsi tipe 1 sering ditemukan pada bahan micropori, karena penyerapan yang tinggi dari bahan micropori diamati pada tekanan yang relatif rendah, karena pori yang sempit dan potensi adsorpsi yang tinggi. Adsorpsi dibatasi oleh volume mikropori bukan oleh luas permukaan internal.

Isotherm adsorpsi tipe 2 biasanya ditemukan pada adsorben yang non porous atau makropori, dimana terjadinya adsorpsi monolayer-multilayer tidak terbatas. Titik belok atau daerah pundak isotherm disebut titik B. Hal ini menunjukkan tahap dimana cakupan yang luas dari monolayer telah sempurna dan adsorpsi multilayer mulai terjadi.

Isotherm adsorpsi tipe 3 tidak umum ditemukan, isotherm reversible dengan sumbu  $P/P_0$  yang lebih cembung seluruh rentangnya dan karenanya tidak menunjukkan titik B. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi tarik menarik adsorbat-adsorben relative lemah dan interaksi adsorbat-adsorbent memainkan peranan penting. Contoh isotherm adsorpsi tipe 3 adalah adsorpsi nitrogen pada polyethylene.

Isotherm adsorpsi tipe 4 khas untuk bahan mesopori. Karakteristik sebagian besar isotherm tipe 4 adalah histerisis lingkaran, yang berhubungan

dengan terjadinya kondensasi pori. Adsorpsi dibatasi pada rentang  $P/P_0$  yang tinggi hasil pada plateau isotherm, yang menunjukkan pori telah terisi lengkap.

Isotherm adsorpsi tipe 5 menunjukkan kondensasi pori dan hysteresis. Namun berbeda dengan tipe 4, bagian awal dari isotherm adsorpsi ini berhubungan dengan isotherm adsorpsi tipe 3, yang menunjukkan interaksi menarik yang relative lemah antara adsorben dan adsorbat.

Isotherm adsorpsi tipe 6 adalah hal khusus, yang mewakili tahapan adsorpsi multilayer yang seragam, permukaan non pori, terutama berbentuk bola simetris, adsorptive non-polar. Isotherm tipe 6 contohnya yang diperoleh dengan argon, dan krypton pada karbon grafit pada suhu nitrogen cair (Lowell *et al.* 2004). Luas permukaan bahan komposit PANI/PPy yang telah disintesis menurut (Wang *et al.* 2015) berdasarkan perbedaan jenis asam ditampilkan pada tabel berikut :

**Tabel 2.** Luas permukaan komposit PANI/PPy (Wang *et al.* 2015)

| Asam                           | SBET<br>(m <sup>2</sup> /g) | SMESO<br>(m <sup>2</sup> /g) | Pore Vtotal<br>(cm <sup>3</sup> /g) | Diameter pori<br>(nm) |
|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| HClO <sub>4</sub>              | 37.7                        | 32.82                        | 0.123                               | 13.1                  |
| HCl                            | 23.1                        | 17.9                         | 0.049                               | 9.4                   |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 34.7                        | 13.79                        | 0.075                               | 8.6                   |

Berdasarkan tabel tersebut asam yang paling baik digunakan untuk sintesis komposit PANI/PPy adalah HClO<sub>4</sub> karena menghasilkan luas permukaan yang besar, volume pori yang besar, dan diameter pori yang berada pada skala mesopori, yang akan bermanfaat dalam proses adsorpsi ion, untuk meningkatkan teknologi *capacitive deionization*.

## 5. LCR Meter

LCR meter adalah sebuah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur induktansi (L), kapasitansi (C), dan resistensi (R) dari suatu material. Prinsip kerja dari alat ini adalah pengukuran impedansi secara internal dan dikonversikan ke layar penampil pengukuran yang kemudian dikonversikan ke kapasitansi atau nilai induktansi yang sesuai (Mujib & Muntini 2013).

LCR HiTESTER HIOKI 3522 adalah salah satu jenis alat ukur impedansi yang dioperasikan menggunakan layar sentuh sebagai media penghubung antara pengguna dengan alat. LCR HiTESTER HIOKI 3522 memiliki spesifikasi diantaranya adalah frekuensi yang dapat diatur dengan rentang 1 mHz-100kHz dengan resolusi tinggi, tegangan arus dapat diatur secara konstan, semua operasi control dimulai dari menu yang ada pada layar sentuh, parameter uji yang diinginkan bisa empat parameter uji secara berurutan (seperti L,C,R, dan lain-lain).



**Gambar 18.** LCR HiTESTER HIOKI 3532

Prinsip pengukuran ini didasari pada prinsip bahwa sebuah arus listrik kecil dialirkan melalui obyek pengukuran (sampel) dan pada saat yang sama drop tegangan diukur di seluruh obyek pengukuran (sampel). Dari drop tegangan diukur impedansi ( $Z$ ), konduktansi ( $G$ ), dan resistansi ( $R$ ), sehingga nilai kapasitansi dapat dihitung setelah itu. Alat ini dirancang untuk keperluan pengukuran sampel yang berbentuk pellet atau padatan. Hal yang terpenting dari instrument ini hanya memiliki satu *output* yang memberikan arus bolak-balik (Mihardi 2008). Berdasarkan data konduktansi yang diperoleh maka konduktivitas dari suatu material yang diukur dapat dihitung dengan persamaan (1) :

$$\sigma = G \frac{l}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

$\sigma$  = Konduktivitas (S/cm);  $G$  = Induktansi (S)

$l$  = Panjang (cm);  $A$  = Luas Penampang (cm<sup>2</sup>)

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Tujuan operasional penelitian ini adalah membuat film komposit polianilin/polipirol dengan variasi konsentrasi polipirol dengan metode polimerisasi oksidatif, mengetahui kemampuan adsorpsi, luas permukaan spesifik, dan mengetahui pengaruh Polypirrole terhadap luas permukaan spesifik, konduktivitas, morfologi komposit yang dihasilkan serta distribusi pori dari film komposit polipirol/polianilin yang dihasilkan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi-desorpsi ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  untuk test desalinasi pada teknologi CDI.

#### **A. Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Negeri Jakarta. Karakterisasi FTIR dilakukan di BATAN pasar Jumat. Karakterisasi SAA dilakukan di Laboratorium Instrumen Kimia FMIPA UNJ. Karakterisasi SEM dilakukan di PUSLABFOR Kalimantan. Karakterisasi XRD dilakukan di Balai Pengujian dan Identifikasi Bea Cukai Jakarta, dan Karakterisasi LCR Meter dilakukan di Departemen Fisika IPB, Bogor. Waktu penelitian dimulai dari bulan November 2016 - Agustus 2017.

#### **B. Metode Penelitian**

Metode penelitian yang dilakukan adalah metode eksperimen dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Mensintesis komposit PANI/PPy dengan metode polimerisasi oksidatif.
2. Karakterisasi struktur dan gugus fungsi komposit PANI/PPy dengan FTIR.
3. Karakterisasi luas permukaan komposit PANI/PPy yang disintesis dengan SAA.
4. Karakterisasi kristalinitas komposit PANI/PPy yang disintesis dengan XRD
5. Menjadikan komposit PANI/PPy menjadi film komposit PANI/PPy dengan *mouting press*.

6. Karakterisasi konduktivitas komposit film PANI/PPy yang disintesis dengan LCR Meter.
7. Karakterisasi morfologi komposit PANI/PPy yang disintesis dengan SEM.
8. Menguji kemampuan adsorpsi-desorpsi  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ , komposit film PANI/PPy.

## 1. Alat dan Bahan

- **Alat**

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah FT-IR, (*Fourier Transform Infrared*), FE-SEM (*Field Emmision-Scaning Electron Microscope*), XRD (*X-Ray Diffractometer*), LCR meter, SAA (*Surface Area Analyzer*), gelas kimia, erlenmeyer, Pipet mikro eppendorf, labu ukur, pipet tetes, batang pengaduk, klem, statif, neraca timbang analitis, kartas saring, kaca arloji, corong kaca, magnetic stirrer, dan magnetic bar.

- **Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah, anilin, pirol, ammonium peroksidisulfat (APS), HCl, NaCl, dan Aquadestilat.

## 2. Prosedur Penelitian

### a. Sintesis Polianilin

Penelitian ini diawali dengan pembuatan Polianilin murni sebagai pembanding kemampuan adsorpsi dari komposit PPy/PANI yang disintesis untuk capacitive deionization. Polianilin dibuat menggunakan metode polimerisasi oksidatif, menggunakan oksidan APS.

Sintesis polianilin dilakukan dengan cara mencampur 0,92 mL anilin dengan 2,5 mL HCl 2M dan aquadestilat hingga volume total 25 mL dalam gelas kimia 250 ml. Larutan selanjutnya diaduk selama 15 menit menggunakan pengaduk magnetik. Pada gelas kimia 50 ml dibuat larutan APS dengan cara, melarutkan 1,7114 g APS dalam 2,5 mL HCl 2M dan aquadestilat hingga volume total 25 mL. Selanjutnya larutan APS ditambahkan kedalam larutan anilin tetes demi tetes. Proses penetesan APS diikuti dengan pengadukan secara konstan pada suhu 0-5°C.

Setelah penambahan APS selesai larutan akan menjadi berwarna hijau tua. Selanjutnya larutan dibiarkan selama 2,5 jam dalam pendingin. Setelah proses polimerisasi selesai, sampel polianilin yang disintesis disaring dan dicuci dengan aquadestilat beberapa kali. Sampel polianilin yang sudah dicuci dengan aquadestilat kemudian dikeringkan dalam desikator selama 7 hari. Sampel PANI yang telah disintesis, kemudian dikarakterisasi, selanjutnya dijadikan film dengan alat *mouting press*, dan diuji kemampuan adsorpsi-desorpsi  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ .

#### **b. Sintesis Polipirrol**

Polipirrol disintesis menggunakan metode polimerisasi oksidatif, menggunakan oksidan APS. Polipirrol disintesis sebagai pembanding kemampuan adsorpsi dari komposit PANI/PPy sebagai elektroda untuk teknologi *capacitive deionization*.

Polipirrol disintesis dengan cara mencampurkan 0,71 ml pirrol dengan 2,5 mL HCl 2M dan aquadestilat hingga volume total 25 mL dalam gelas 250 mL. Larutan selanjutnya diaduk menggunakan pengaduk magnetik selama 15 menit. Pada gelas kimia 50 ml dibuat larutan APS dengan cara mencampur 2,5101 g APS dengan 2,5 mL HCl dan aquadestilat hingga volume total 25 mL dalam gelas 50 ml, ratio pirrol/oksidan (1,1). Selanjutnya larutan APS ditambahkan kedalam larutan pirrol tetes demi tetes. Proses penetesan APS diikuti dengan pengadukan secara konstan pada suhu  $0-5^{\circ}\text{C}$ , volume total reaksi 50 ml.

Setelah penambahan APS selesai, selanjutnya larutan dibiarkan selama 2,5 jam dalam pendingin. Setelah proses polimerisasi selesai, sampel polipirrol yang disintesis disaring dan dicuci dengan aquadestilat beberapa kali. Sampel polipirrol yang sudah dicuci dengan aquadestilat kemudian dikeringkan didesikator selama 7 hari. Sampel polipirrol yang telah disintesis kemudian dikarakterisasi dan dijadikan film dengan alat *mouting press*, selanjutnya diuji kemampuan adsorpsi-desorpsi  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ .

### **c. Sintesis Komposit Polianilin/Polipirol dari Monomer Anilin dan Pirol**

Komposit PANI/PPy dibuat dengan cara metode polimerisasi oksidasi. Untuk langkah pertama, 0,46 mL anilin didispersikan dalam larutan asam selama 15 menit, dengan cara menambahkan 0,46 mL aniline dengan 2,5 mL HCl 2M, dan ditambahkan aquadestilat hingga volume total 15 mL. Larutan selanjutnya diaduk selama 15 menit. Pada gelas kimia 50 mL dibuat larutan APS dengan cara mencampurkan 0,8557 g APS dengan 2,5 mL HCl 2M, dan ditambahkan aquadestilat hingga volume total 15 mL. Setelah aniline diaduk selama 15 menit, kemudian ditambahkan APS. Prosedur di atas dilakukan dalam water bath pada suhu 0-5°C dan disertai pengadukan selama proses berlangsung.

Langkah selanjutnya, 0,35 mL pirol ditambahkan kedalam larutan PANI yang terdispersi dan diaduk selama 30 menit. Selanjutnya, pada gelas kimia 50 mL dibuat larutan APS, dengan cara mencampurkan 1,2550 g APS dengan 19,65 mL aquadestilat. Setelah pengadukan selama 30 menit selesai, larutan APS ditambahkan ke dalam sistem disertai dengan pengadukan. Larutan kemudian didiamkan sambil terus diaduk selama 3 menit. Selanjutnya sampel didiamkan didalam pendingin selama 2,5 jam. Setelah didiamkan selama 2,5 jam di pendingin selesai, larutan kemudian disaring dan sampel komposit PANI/PPy yang diperoleh dicuci dengan aquadestilat beberapa kali dan kemudian dikeringkan di desikator selama 7 hari.

Selanjutnya dilakukan pula variasi konsentrasi PPy pada pembuatan komposit PANI/PPy dengan ratio (75:25; 50:50; dan 25:75%) dengan metode polimerisasi oksidatif.

### **d. Pembuatan Film Komposit Polianilin/Polipirol**

Sintesis film komposit polianilin/polipirol dilakukan dengan menggunakan alat *mouting press* beserta *templat*nya yang telah dimodifikasi. Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan menimbang serbuk komposit polianilin/polipirol sebanyak 0,6 gram. Kemudian serbuk dimasukkan kedalam *template* kemudian di press selama 3 menit dengan tekanan sebesar 8 ton. Hasilnya akan didapatkan film komposit polianilin/polipirol dengan ketebalan rata-rata 0,1 cm dengan diameter

2,5 cm. prosedur yang sama dilakukan pada pembuatan film polianilin dan polipirol

#### **e. Karakterisasi Komposit Polipirol/Polianilin**

Karakterisasi komposit polianilin/polipirol dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat yang dimiliki oleh komposit hasil sintesis dengan menggunakan berbagai instrumen kimia. Sifat-sifat yang diamati antara lain:

1. Karakterisasi keberadaan gugus fungsi komposit polianilin/polipirol dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR)
2. Karakterisasi kristalinitas komposit polianilin/polipirol dengan *X-ray Diffractometer* (XRD)
3. Karakterisasi luas permukaan komposit polianilin/polipirol dengan SAA
4. Karakterisasi morfologi permukaan komposit polianilin/polipirol dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM)
5. Karakterisasi konduktivitas komposit polianilin/polipirol dengan LCR Meter

#### **f. Test Desalinasi Film Komposit Polianilin/Polipirol**

Merangkai alat teknologi CDI, dengan menghubungkan elektroda komposit PPy/PANI yang disintesis dengan arus 1.4 V. Larutan yang digunakan adalah larutan NaCl 500 mg/L. Test desalinasi dilakukan dengan cara, larutan garam NaCl yang akan digunakan dalam sistem desalinasi ditampung dalam wadah dan diukur nilai konduktifitasnya menggunakan alat ukur kondukto meter. Proses adsorpsi dilakukan selama 1000 detik. Larutan hasil desalinasi selanjutnya diukur nilai konduktifitasnya setiap 200 detik. Proses desorpsi dilakukan dengan cara tanpa memberi tahanan pada elektroda. Proses desorpsi dilakukan selama 650 detik. Larutan hasil desorpsi diukur nilai konduktivitasnya setiap 130 detik. Hasil pengukuran konduktivitas selanjutnya digunakan sebagai parameter pengurangan kadar garam dalam sistem desalinasi serta perhitungan kapasitas adsorpsi dari elektroda komposit PPy/PANI menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$\% \text{Garam} = \frac{\sigma_f - \sigma_p}{\sigma_f} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

$\sigma_f$  : konduktivitas awal;  $\sigma_p$  : konduktivitas akhir.

$$m_t = \frac{(c_0 - c_1)V}{m} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

$m_t$  = kapasitas adsorpsi (mg/g)

$c_0$  = konsentrasi awal NaCl (mg/L)

$c_1$  = konsentrasi akhir NaCl (mg/L)

$V$  = volume NaCl

$m$  = massa elektroda (g)

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

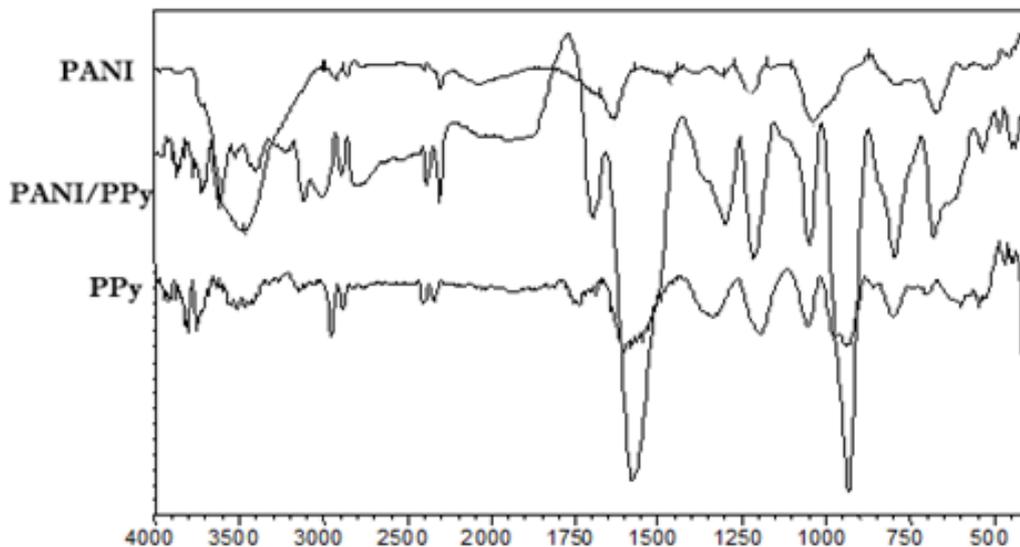
#### **A. Sintesis Komposit Polianilin/Polipirol**

Pada penelitian ini, komposit PANI/PPy disintesis menggunakan metode polimerisasi oksidatif, dan dengan memvariasikan konsentrasi PPy pada komposit PANI/PPy. Metode polimerisasi oksidatif digunakan karena proses preparasinya yang mudah dan agar polianilin dan polipirol yang dihasilkan dalam keadaan teroksidasi, karena polianilin dan polipirol dalam keadaan netral tidak bersifat konduktif (Abdulla & Abbo 2012; Blinova *et al.* 2007). Variasi konsentrasi PPy pada komposit PANI/PPy dilakukan karena, berdasarkan jurnal yang telah dikaji menyatakan bahwa sifat dari bahan komposit PANI/PPy yang dihasilkan dapat lebih baik dibandingkan dengan PANI dan PPy murni (Velhal *et al.* 2014).

#### **B. Karakterisasi Komposit PANI/PPy**

##### **1. Analisa Gugus Fungsi dengan Fourier Transform Infrared (FTIR)**

Karakterisasi sampel hasil sintesis menggunakan instrument *Fourier Transform Infrared (FTIR) Spektrofotometer* bertujuan untuk mengetahui keberadaan gugus fungsi dari sampel polianilin, polipirol, dan komposit polianilin/polipirol. Instrument spektroskopi FTIR yang digunakan adalah IR prestige-21 FTIR SHIMADZU. Hasil karakterisasi FTIR dari sampel polianilin, polipirol, dan komposit PANI/PPy yang telah disintesis ditampilkan pada gambar 19.



**Gambar 19.** Spektrum FTIR PANI, PANI/PPy, dan PPy

Berdasarkan hasil pada gambar 19, pada sampel PANI yang diuji menampilkan karakteristik puncak-puncak serapan gugus fungsi dari polianilin, yaitu pada puncak di  $\sim 3454.51 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan *stretching* N-H. Pada puncak di  $\sim 2924.21 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan vibrasi *stretching* C-H (Oraon *et al.* 2016). Pada puncak di  $\sim 1631.78 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan C=C *stretching* dari cincin quinoid. Pada puncak di  $\sim 1467.83 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan C=C *stretching* dari cincin benzenoid. Pada puncak di  $\sim 1301.95 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan *stretching* C-N aromatik amina sekunder. Pada puncak di  $\sim 1041.56 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan puncak spektrum dari *emeraldin salt* yaitu pita serapan Q= $\text{NH}^+$ -B yang diyakini sebagai puncak karakteristik dan justifikasi kondisi konduktif polianilin (Dubal *et al.* 2013; Mi *et al.* 2008; Xu *et al.* 2015). Berdasarkan hasil analisa dari data FTIR dapat disimpulkan bahwa polianilin *emeraldine salt* (ES) berhasil disintesis.

Berdasarkan hasil pada gambar 19, pada sampel PPy yang diuji menampilkan karakteristik puncak-puncak serapan gugus fungsi dari polipirrol, yaitu pada puncak di  $\sim 793.74 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan bending C-H di luar bidang. Pada puncak di  $\sim 923.94 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan deformasi cincin C-C diluar bidang. Pada puncak di  $\sim 1043.54 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan deformasi C-H dan N-H dalam bidang. Pada puncak di  $\sim 1309.72 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan

deformasi C-H atau C-N dalam bidang. Pada puncak di  $\sim 1477.54 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan *stretching* vibrasi C-N. Pada puncak di  $\sim 1581.70 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan *stretching* vibrasi C=C. Pada puncak di  $\sim 2924.21 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan ikatan amina aromatic. Pada puncak di  $\sim 3479.73 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan *stretching* N-H (Velhal *et al.* 2014; Bahraeian *et al.* 2013). Peak khas berhasil terbentuknya polipirrol adalah adanya *stretching* C-N pada puncak  $1477.54 \text{ cm}^{-1}$  dan dari C-H dan N-H pada puncak  $1043.54 \text{ cm}^{-1}$ . Berdasarkan hasil analisa dari data FTIR dapat disimpulkan bahwa polipirrol berhasil disintesis.

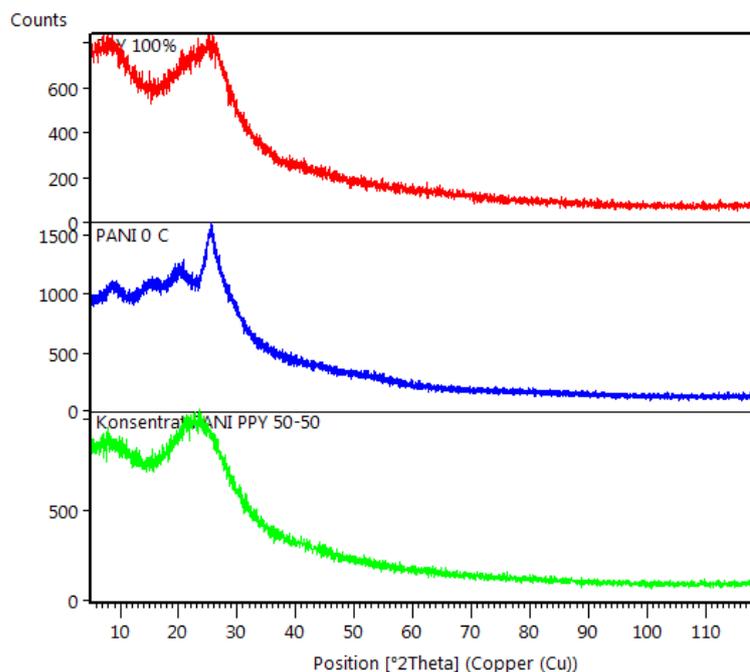
Berdasarkan hasil pada gambar 19, komposit sampel PANI/PPy yang diuji menampilkan puncak-puncak serapan gugus fungsi gabungan dari polianilin dan polipirrol, yaitu pada puncak di  $794.67 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan *bending vibration* C-H diluar bidang dari PPy. Pada puncak  $931.62 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan *bending vibration* C-H diluar bidang dari PANI. Pada puncak  $1051.20 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan *bending vibration* C-H pada cincin PPy. Pada puncak  $1294.24 \text{ cm}^{-1}$  terjadi peningkatan intensitas peak yang dideteksi merupakan *stretching vibration* dari C-N aromatic amina sekunder dari PANI. pada puncak  $1573.91 \text{ cm}^{-1}$  terjadi peningkatan intensitas peak yang dideteksi merupakan *stretching vibration* dari C=C di cincin quinoid dari PANI dan PPy. Pada puncak  $2821.86 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan *stretching vibration* dari C-H pada cincin PPy. Dan pada puncak  $3398.57 \text{ cm}^{-1}$  dideteksi merupakan *stretching vibration* dari N-H pada PPy dan PANI.

Dibandingkan dengan puncak FTIR dari PANI dan PPy, perbedaan posisi puncak dan intensitas dari spectrum FTIR pada komposit PANI/PPy menunjukkan bahwa pada komposit PANI/PPy, terdapat interaksi antara PANI dengan PPy, dan bukan sekedar campuran sederhana dari kedua bahan tersebut (Lei *et al.* 2014; Mi *et al.* 2008). Pergeseran puncak serapan yang dihasilkan pada komposit PANI/PPy disebabkan perubahan lingkungan kimia dari gugus fungsi karena adanya polipirrol dalam komposit. Peningkatan intensitas spectrum FTIR dari komposit PANI/PPy dapat disebabkan adanya akumulasi serapan dari gabungan serapan dari PANI dan PPy, serta dapat terjadi akibat interaksi antara ikatan  $\pi$  dari cincin aromatic pada polianilin dan polipirrol yang terjadi (Velhal *et al.* 2014).

Berdasarkan hasil analisa diatas, dimana puncak-puncak yang dihasilkan pada karakterisasi menggunakan instrument FTIR merupakan puncak gabungan dari PANI dan PPy yang menunjukkan bahwa komposit PANI/PPy berhasil disintesis.

## 2. X-Ray Diffractometer (XRD)

Untuk mengetahui kristalinitas sampel polianilin, polipirol, dan komposit polianilin/polipirol hasil sintesis maka sampel polianilin, polipirol, dan komposit polianilin/polipirol dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffractometer (XRD)* sebagai data kualitatif dengan memanfaatkan radiasi gelombang sinar-X. Analisis kualitatif dapat dilakukan berdasarkan tinggi peak atau luas puncak. Sudut dan profil peak dapat digunakan untuk menentukan diameter partikel dan derajat kristalinitas serta berguna dalam melakukan analisis sinar-X pada struktur tertentu (nishikicho 2013).



**Gambar 20.** Pola difraksi sampel polianilin, polipirol, dan komposit polianilin/polipirol

Berdasarkan pola difraksi pada gambar 20 dapat diketahui, pada pola difraksi sampel polianilin dideteksi terdapat puncak yang berada pada  $2\theta$   $9,045^\circ$ ,  $20,4^\circ$ , dan  $25,6^\circ$  yang merupakan puncak dari sampel polianilin garam emeraldin.

Ketiga puncak yang terdeteksi pada pola XRD polianilin hasil sintesis tersebut merupakan tiga puncak utama pada pola difraksi polianilin (Lei et al. 2014; Xu et al. 2015). Ketiga puncak tersebut merupakan puncak kristalin pada  $\sim 9^\circ$ , puncak amorf pada  $\sim 19,5^\circ$  dan puncak khas dari polianilin pada  $\sim 25^\circ$  (Farrokhzad et al. 2013; Bandgar et al. 2012; Cheng et al. 2006; Maddu et al. 2008). Pada pola difraksi sampel polipirol dideteksi puncak pada  $2\theta$   $25.2^\circ$  yang sedikit landai dan melebar dibanding dengan pola difraksi pada sampel polianilin, yang merupakan puncak khas amorf pada sampel polipirol (Lei et al. 2014). Pada pola difraksi sampel komposit PANI/PPy dideteksi puncak pada  $2\theta$   $23^\circ$  yang landai dan melebar seperti pada pola difraksi sampel polipirol, yang merupakan puncak amorf pada sampel komposit PANI/PPy (Su 2015).

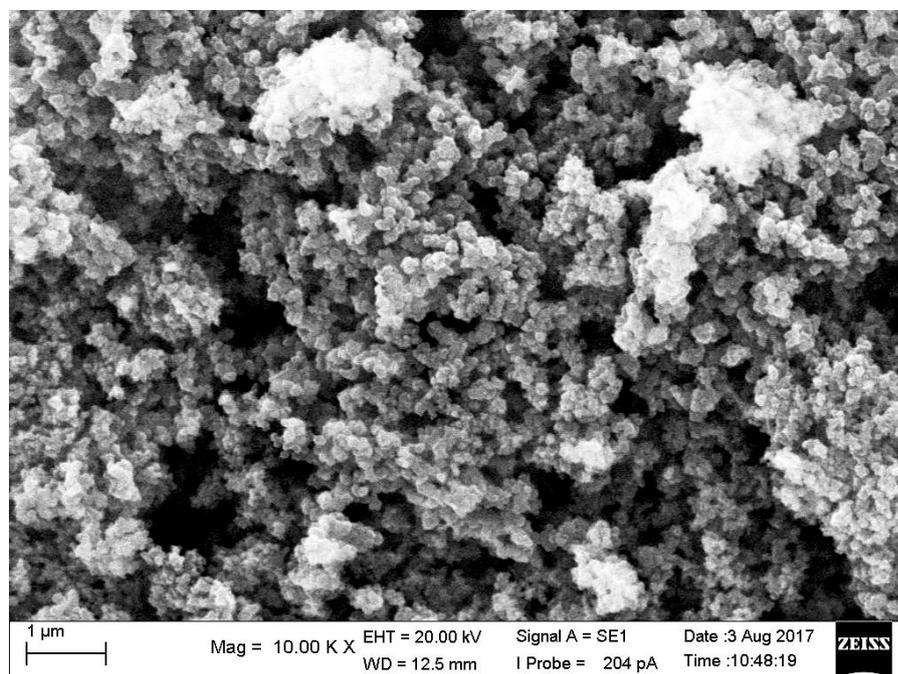
Untuk komposit PANI/PPy, strukturnya hampir mirip dengan PPy, hal ini menandakan bahwa struktur amorf dari komposit PANI/PPy diperkuat dengan adanya PPy pada permukaan PANI. Ini merupakan alasan yang mungkin, ketika PPy ditambahkan ke PANI melalui polimerisasi dari *pyrrole* pada permukaan kristalin PANI (Mi et al. 2008). Hilangnya puncak difraksi dari PANI pada pola difraksi sinar X dari komposit PANI/PPy, mungkin diakibatkan karena ketidakmurnian *hierarchical superstructure* dari PANI akibat adanya polipirol, sehingga menghambat pertumbuhan kristalit dari PANI (Lei et al. 2014).

Berdasarkan analisis puncak yang dihasilkan pada pola difraksi masing-masing sampel, diketahui bahwa pada sampel polianilin memiliki struktur yang lebih kristalin dibandingkan dengan sampel polipirol, dan komposit polianilin/polipirol dengan persen kristalinitas sebesar 40,68% yang dianalisis menggunakan *software* HighScore Plus PANanalytical. Secara umum bahan yang memiliki fase amorf, layak digunakan untuk aplikasi supercapacitor, karena kelebihanannya dalam hal kemudahan penetrasi ion ke bahan tersebut melalui bahan aktif pada material tersebut (Lei et al. 2014; Dubal et al. 2013).

### 3. Scanning Electron Microscope (SEM)

Setelah diketahui fasa dari sampel polianilin, polipirol, dan komposit polianilin/polipirol menggunakan instrument XRD, sampel komposit PANI/PPy

tersebut kemudian dikarakterisasi morfologinya menggunakan instrumen SEM. Pada SEM, gambar dibuat berdasarkan deteksi elektron baru atau elektron pantul yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel discan dengan sinar elektron. Elektron pantul yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor *Cathode Ray Tube* (CRT). Berdasarkan karakterisasi menggunakan instrumen SEM dengan perbesaran 10.000x didapatkan gambar morfologi komposit PANI/PPy sebagai berikut:



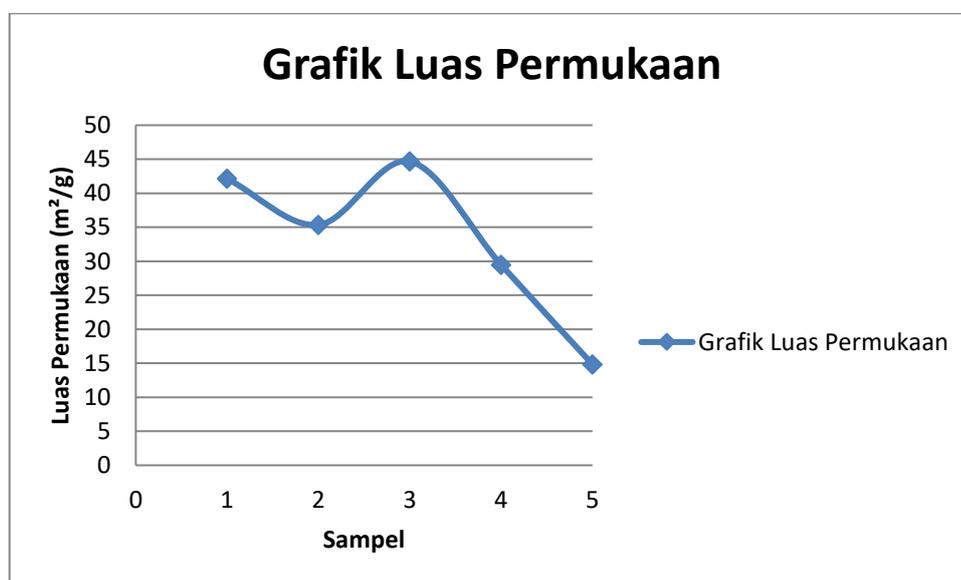
**Gambar 21.** Gambar SEM PANI/PPy

Berdasarkan mikrograf SEM pada gambar 21, diketahui bahwa pada sampel komposit PANI/PPy memiliki morfologi berbentuk granular yang tertumpuk rapat, dengan ukuran partikel berada dalam skala ratusan nanometer yaitu sebesar ~140 nm, yang menyerupai struktur kembang kol (*cauliflower*), yang merujuk pasti pada morfologi amorf (Su 2015; Cakmak *et al.* 2005; Abdulla & Abbo 2012). Berdasarkan hasil tersebut memperkuat hasil analisis XRD dari PANI/PPy yang menandakan bahwa komposit PANI/PPy memiliki struktur amorf.

#### 4. Surface Area Analyzer (SAA)

Pengukuran luas permukaan sampel polianilin, polipirrol, dan komposit PANI/PPy yang telah disintesis dikarakterisasi menggunakan instrument *Surface Area Analyzer* (SAA) Micromeritics ASAP 2020. Sampel dikarakterisasi menggunakan isotherm adsorpsi-desorpsi menggunakan gas nitrogen. Sampel dipreparasi dengan cara melakukan degassing pada suhu 150°C selama 6 jam. Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan instrument SAA didapatkan hasil luas permukaan sampel PANI, PPy, dan komposit PANI/PPy sebagai berikut :

Berdasarkan hasil data pengukuran luas permukaan dari sampel polianilin, polipirrol, dan komposit PANI/PPy pada gambar 22, diketahui bahwa nilai luas permukaan BET yang dihasilkan pada komposit PANI/PPy (50:50)% lebih besar dibandingkan dengan komposit PANI/PPy (75:25)% dan (25:75)%, serta sedikit lebih besar dibandingkan dengan polianilin dan tiga kali lebih besar dibandingkan dengan polipirrol.



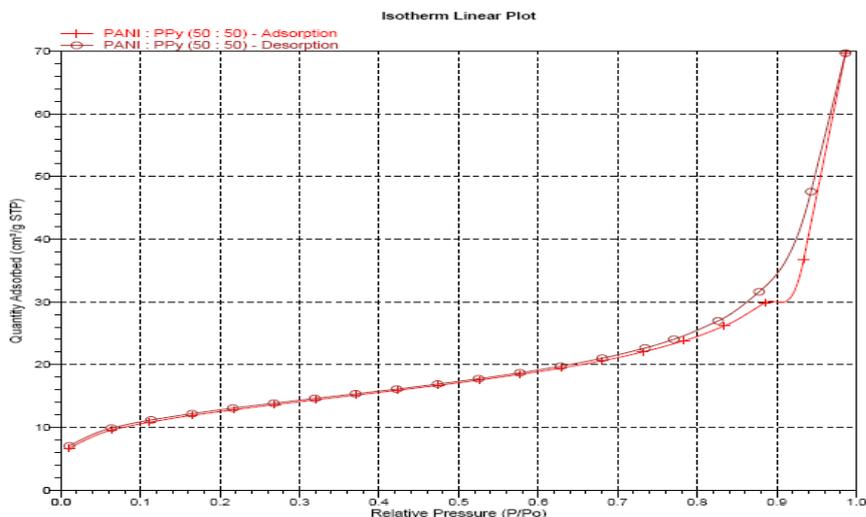
**Gambar 22.** Grafik luas permukaan PANI (1), PANI/PPy 75:25% (2), PANI/PPy 50:50% (3), PANI/PPy 25:75% (4), dan PPy(5)

Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa luas permukaan yang dihasilkan pada komposit PANI/PPy (50:50)% lebih besar dari hasil yang diperoleh pada (Wang et al. 2015) yaitu sebesar 23,1 m<sup>2</sup>/g, serta lebih besar

dibandingkan dengan PANI, dan PPy murni. Luas permukaan yang besar dari komposit PANI/PPy (50:50)% dapat memberikan kelebihan dalam hal adsorpsi ion dan meningkatkan kemampuan adsorpsi dari bahan komposit PANI/PPy (Jia & Zhang 2016; Wang *et al.* 2015).

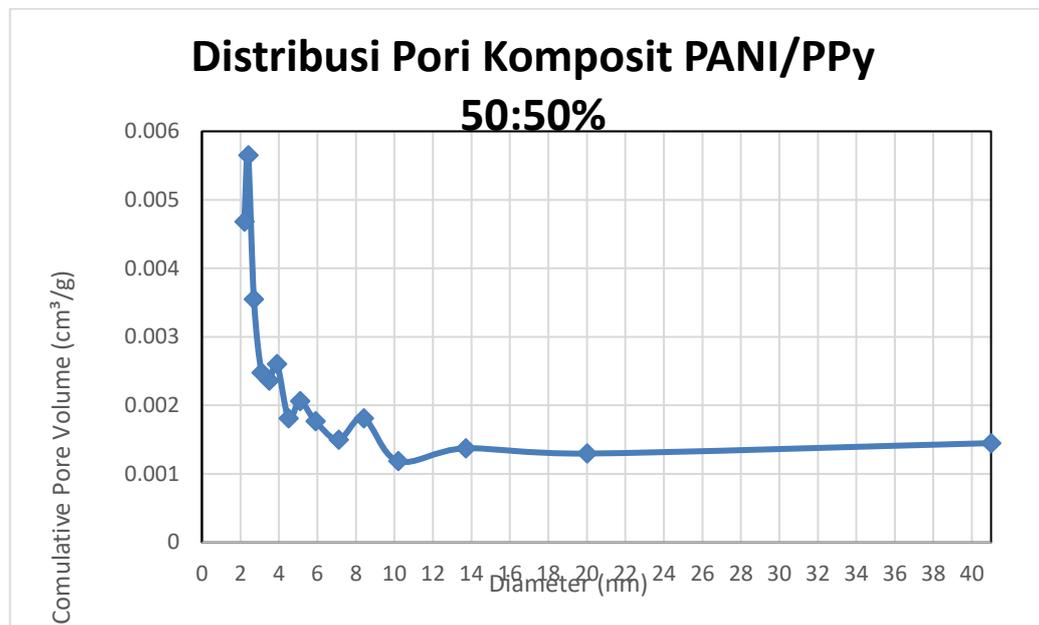
Peningkatan luas permukaan BET pada komposit PANI/PPy (50:50)% dapat disebabkan karena pengaruh proses reaksi yang berlangsung pada suhu rendah dan pendinginan sampel komposit PANI/PPy (50:50)% di dalam pendingin/refrigerator yang menyebabkan, proses polimerisasi yang terjadi berlangsung lambat sehingga luas permukaan menjadi meningkat karena proses polimerisasi yang terjadi, berlangsung secara sempurna (Su 2015; Wang *et al.* 2015; Oraon *et al.* 2016). Selain itu nilai ukuran partikel yang kecil yang dimiliki oleh komposit PANI/PPy yaitu sekitar 134,31 nm lebih kecil dibandingkan dengan PANI dan PPy murni, serta rasio komposit yang lain yaitu 75:25%, dan 25:75%, masing-masing sebesar 142,39 nm, 403,98 nm, 169,72 nm, dan 203,49 nm, yang mengubah sifat kimia dan fisika dari bahan tersebut, sehingga luas permukaan spesifik dari komposit PANI/PPy rasio 50:50% memiliki luas permukaan yang besar (Nishio *et al.* 1996). Komposisi yang tepat pada komposit PANI/PPy (50:50)% juga berpengaruh, sehingga pengaruh PANI dan PPy pada komposit sama besarnya sehingga pada komposit PANI/PPy (50:50)% lebih besar dibandingkan dengan komposisi lainnya.

Pada komposit PANI/PPy dengan rasio 75:25%, dan 25:75% nilai luas permukaannya lebih kecil dibandingkan dengan polianilin murni, yang mungkin dapat disebabkan karena lapisan PPy yang membungkus permukaan polianilin dapat meningkatkan diameter partikel nanofiber dari polianilin, sehingga luas permukaannya menurun (Wang *et al.* 2014). Turunnya nilai luas permukaan dari komposit PANI/PPy rasio 75:25%, dan 25:75% juga dapat dikarenakan karena terjadinya aglomerasi pada komposit PANI/PPy akibat dari penggabungan PANI dengan PPy yang saling tumpang tindih selama proses polimerasi yang memblokir/menutupi pori-pori, dengan demikian menurunkan luas permukaan dari komposit PANI/PPy pada rasio 75:25%, dan 25:75% (Oraon *et al.* 2016).



**Gambar 23.** Isotherm adsorpsi-desorpsi nitrogen pada sampel komposit PANI/PPy

Berdasarkan gambar 23, kurva isotherm adsorpsi-desorpsi nitrogen pada sampel komposit PANI/PPy menunjukkan isotherm tipe IV berdasarkan IUPAC yang merupakan kurva khas untuk bahan mesopori, dengan karakteristik histerisis di tekanan  $P/P_0$  0.7-1.0, yang berhubungan dengan terjadinya kondensasi pori. Berdasarkan data diameter pori rata-rata yang dihasilkan dari komposit PANI/PPy, polianilin, dan polipirrol yang telah disintesis masing-masing sebesar 9.65091, 14.65457, dan 7.01175 nm yang mengindikasikan bahwa sebagian besar sampel memiliki struktur mesopori, dengan luas permukaan mesopori masing-masing sebesar 3.2680, 8.2176, dan 2.1400 m<sup>2</sup>/g, dan volume pori masing-masing sebesar 0.107778, 0.154374, dan 0.026035 cm<sup>3</sup>/g. Berdasarkan gambar 24 diketahui bahwa struktur mesopori dari komposit PANI/PPy 50:50% memiliki struktur mesopori yang berkisar antara 3,5 nm sampai 21 nm, sedangkan untuk ukuran mikroporinya berkisar dibawah 1,8 nm.



**Gambar 24.** Grafik distribusi pori Komposit PANI/PPy 50:50%

Berdasarkan hasil data tersebut diketahui bahwa sampel polianilin memiliki struktur yang lebih berpori dibandingkan dengan sampel komposit PANI/PPy dan polipirrol, karena memiliki luas permukaan mesopori yang lebih besar, serta volume pori yang besar, yang dapat memberikan kelebihan dalam hal meningkatkan difusi ion dibagian dalam bahan polianilin (Wang *et al.* 2015)

Bahan yang memiliki luas permukaan BET yang besar serta volume pori yang besar dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi dan mendukung transport electron yang cepat dari bahan tersebut, sehingga dapat menjadi kandidat yang menjanjikan dalam pengembangan material terbarukan untuk aplikasi sebagai sensor, penyimpanan *energy*, sel surya, elektroda, dan lain sebagainya (Wang *et al.* 2015; Dubal *et al.* 2013; Abdulla & Abbo 2012).

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari karakterisasi luas permukaan sampel polianilin, polipirrol, dan komposit PANI/PPy menggunakan instrument *Surface Area Analyzer (SAA)*, diketahui bahwa sampel komposit PANI/PPy (50:50)% memiliki potensi yang baik untuk digunakan sebagai bahan dasar elektroda untuk proses adsorpsi-desorpsi  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ .

## 5. LCR Meter

Pengukuran konduktivitas listrik pada sampel film polianilin, polipirol, dan komposit polianilin/polipirol dilakukan dengan instrument LCR meter yang ada di Departemen Fisika IPB Bogor. Data yang diperoleh berdasarkan alat tersebut adalah induktansi (G), panjang (l), dan luas penampang (A) dari masing-masing sampel yang diuji. Berdasarkan data tersebut maka dapat dihitung nilai konduktivitasnya berdasarkan persamaan :

$$\sigma = G \frac{l}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

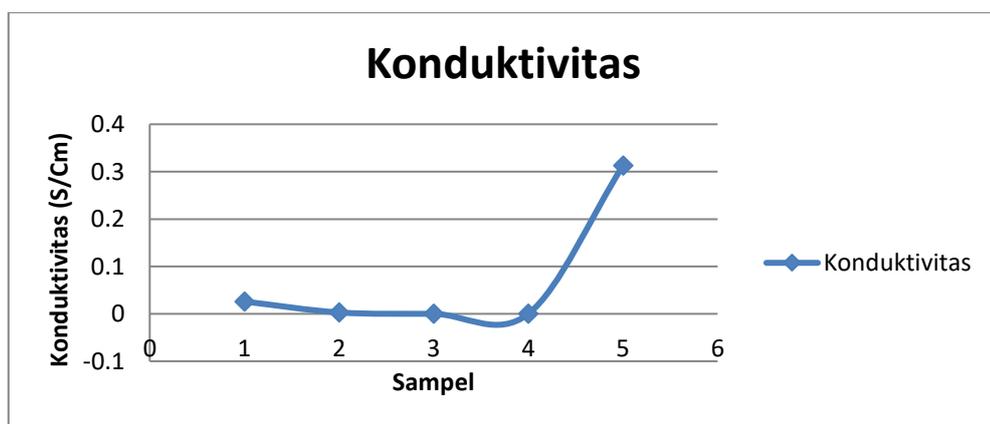
$\sigma$ = Konduktivitas (S/cm)

G= Induktansi (S)

l= Panjang (cm)

A= Luas Penampang (cm<sup>2</sup>)

Berdasarkan data dan perhitungan menggunakan persamaan tersebut, maka didapatkan nilai konduktivitas dari sampel polianilin, polipirol, dan komposit polianilin/polipirol seperti yang ditampilkan pada gambar 25.

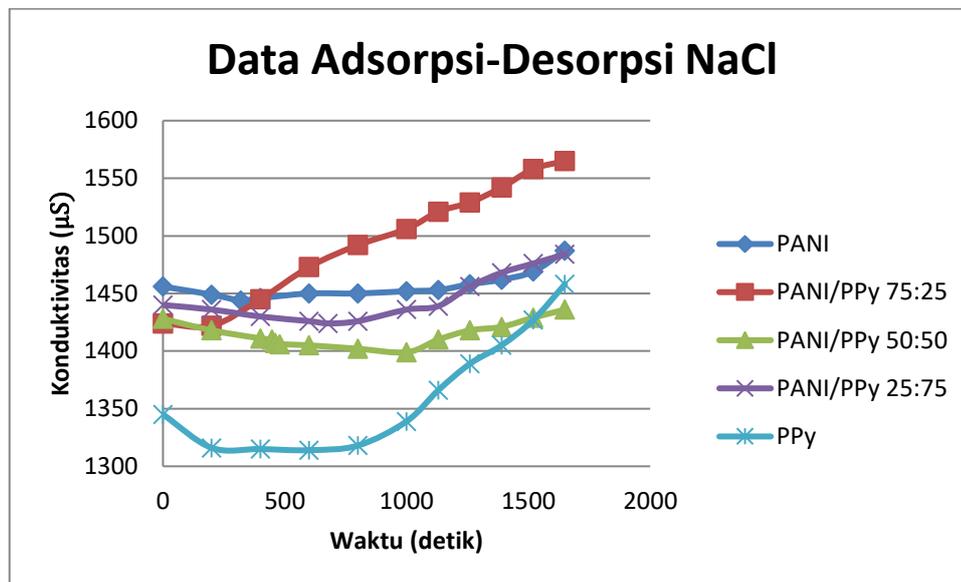


**Gambar 25.** Kurva konduktivitas sampel PANI (1), PANI/PPy 75:25% (2), PANI/PPy 50:50% (3), PANI/PPy 25:75% (4), PPy (5)

Berdasarkan hasil pada gambar 25, diketahui bahwa sampel polipirol memiliki konduktivitas yang lebih besar dibandingkan dengan sampel yang lain yaitu sebesar 0,3127 S/cm. Sedangkan pada sampel komposit polianilin/polipirol yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan sampel polianilin murni yaitu sebesar  $2,596 \times 10^{-2}$  S/cm dan polipirol murni yaitu sebesar 0,3127 S/cm. Hal tersebut dapat dijelaskan bahwa penurunan konduktivitas dari komposit PANI/PPy dapat dijelaskan sebagai resistansi transport elektron pada PANI lebih besar dibandingkan dengan PPy (Wang *et al.* 2014). Di sisi lain, penggunaan anilin yang relatif besar atau kecil pada sintesis komposit PANI/PPy menunjukkan hasil yang rendah, yang mungkin berasal dari proses pembentukan komposit PANI/PPy yang belum maksimal, yang dapat mengurangi konjugasi atau panjang rantai dari komposit yang dihasilkan (Xing *et al.* 2006). Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa luas permukaan spesifik yang besar lebih berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi yang dihasilkan dibandingkan dengan konduktivitas (Zhao *et al.* 2015).

## 6. Tes Desalinasi

Tes desalinasi ini menggunakan sistem *capacitive deionization* (CDI). Pada penelitian ini sistem CDI diuji menggunakan tegangan 1,4 V dengan konsentrasi larutan NaCl sebesar  $8.3 \times 10^{-3}$  M (Wang *et al.* 2015). Hasil pengurangan konduktivitas dari sistem CDI dapat dilihat pada gambar 26. Ion pada larutan akan diadsorpsi oleh elektroda ketika elektroda diberikan sumber arus eksternal, sehingga menyebabkan berkurangnya konduktivitas larutan tersebut akibat berkurangnya ion yang berada dilarutan.



**Gambar 26.** Kuva adsorpsi-desorpsi NaCl oleh sampel PANI, PPy, dan PANI/PPy

Pada sistem ini dilakukan pengujian konduktivitas larutan NaCl selama 1650 detik. Pada PANI murni nilai konduktivitasnya menurun setelah 320 detik, yaitu dari 1456  $\mu\text{S}$  menjadi 1444  $\mu\text{S}$ , selanjutnya konduktivitas meningkat kembali. Pada komposit PANI/PPy 75:25% nilai konduktivitasnya menurun setelah 200 detik, yaitu dari 1424  $\mu\text{S}$  menjadi 1422  $\mu\text{S}$ , pada komposit PANI/PPy 50:50% nilai konduktivitasnya menurun setelah 1000 detik, yaitu dari 1428  $\mu\text{S}$  menjadi 1399  $\mu\text{S}$ , sedangkan pada komposit PANI/PPy 25:75% nilai konduktivitasnya menurun setelah 678 detik, yaitu dari 1440  $\mu\text{S}$  menjadi 1424  $\mu\text{S}$ , selanjutnya konduktivitas meningkat kembali. Pada PPy murni nilai konduktivitasnya menurun setelah 600 detik, yaitu dari 1345  $\mu\text{S}$  menjadi 1314  $\mu\text{S}$ . Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin bertambahnya waktu adsorpsi maka sifat elektroadsorpsi dari suatu elektroda akan berkurang karena permukaan elektrodanya telah ditempati oleh ion atau telah jenuh, sehingga efisiensi pengurangan ion menjadi lebih rendah. Nilai kapasitas adsorpsi NaCl pada material yang diuji dapat dihitung menggunakan rumus (3) :

$$m_t = \frac{(c_0 - c_1)V}{m} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

$m_t$  = kapasitas adsorpsi (mg/g)

$c_0$  = konsentrasi awal NaCl (mg/L)

$c_1$  = konsentrasi akhir NaCl (mg/L)

$V$  = volume NaCl

$m$  = massa elektroda (g)

Berdasarkan perhitungan menggunakan rumus (3) didapatkan nilai kapasitas adsorpsi dari material PANI sebagai elektroda sebesar 0,156 mg/g. Pada komposit PANI/PPy 75:25 kapasitas adsorpsinya sebesar  $1,8309 \times 10^{-2}$  mg/g, pada komposit PANI/PPy 50:50% kapasitas adsorpsinya sebesar 0,504373 mg/g, sedangkan pada komposit PANI/PPy 25:75% kapasitas adsorpsinya sebesar 0,478615 mg/g. Pada elektroda PPy murni kapasitas adsorpsinya sebesar 0,445961 mg/g.

Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa nilai kapasitas adsorpsi dari komposit PANI/PPy 50:50% lebih besar 3,2 kali dibandingkan dengan PANI murni, dan 1,1 kali lebih besar dibandingkan dengan PPy murni dengan persen pengurangan garam berdasarkan rumus (2) sebesar 2,03%. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa komposit PANI/PPy memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih baik dibandingkan dengan PANI, dan PPy murni.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian dan analisis dari data karakterisasi melalui instrument FTIR, XRD, SEM, SAA, dan LCR Meter mengenai Sintesis Komposit Polyanilin/Polypirrol dengan Metode Polimerisasi Oksidatif Sebagai Elektroda untuk Proses Adsorpsi-Desorpsi  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada komposit PANI/PPy 50:50% memiliki luas permukaan yang lebih besar yaitu  $44,6705 \text{ m}^2/\text{g}$  dibandingkan dengan PANI murni ( $42,1368 \text{ m}^2/\text{g}$ ) dan PPy murni ( $14,8520 \text{ m}^2/\text{g}$ ).
2. Komposit PANI/PPy yang disintesis memiliki struktur amorf yang dikonfirmasi berdasarkan karakterisasi XRD, dan memiliki morfologi berbentuk granular yang tertumpuk rapat yang dikonfirmasi berdasarkan karakterisasi SEM.
3. Pada komposit PANI/PPy dengan rasio 50:50% memiliki nilai konduktivitas yang lebih rendah yaitu sebesar  $7,73 \times 10^{-11} \text{ S/cm}$  dibandingkan dengan PANI murni ( $2,596 \times 10^{-2} \text{ S/cm}$ ) dan PPy murni ( $0,3127 \text{ S/cm}$ ).
4. Pada komposit PANI/PPy kapasitas adsorpsi yang dihasilkan yaitu  $0,504373 \text{ mg/g}$  yang lebih besar 3,2 kali dibandingkan dengan PANI murni ( $0,156 \text{ mg/g}$ ), dan 1,1 kali dibandingkan dengan PPy murni ( $0,445961 \text{ mg/g}$ ).
5. Kemampuan menghilangkan garam dari komposit PANI/PPy 50:50% terhadap larutan NaCl sebesar 2,03%

**B. Saran**

Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai sintesis komposit PANI/PPy untuk meningkatkan konduktivitas komposit PANI/PPy yang lebih besar, dengan luas permukaan yang besar, untuk meningkatkan kemampuan sebagai elektroda pada teknologi CDI. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi kemampuan komposit PANI/PPy sebagai elektroda untuk teknologi *capacitive deionization*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdulla, H. & Abbo, A., 2012. Optical and Electrical Properties of Thin Films of Polyaniline and Polypyrrole. *International Journal of Electrochemical Science*, 7(2012), pp.10666–10678.
- Ahmed, F. et al., 2015. Electrically conductive polymeric membranes for fouling prevention and detection: A review. *Desalination*, (2015), pp.1–15.
- Alyamani, A. & Lemine, O.M., 2012. FE-SEM Characterization of Some Nanomaterial. *Scanning Electron Microscopy*, (1), pp.463–472. Available at: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/30948.pdf> \n <http://www.intechopen.com/books/scanning-electron-microscopy/fe-sem-characterization-of-some-nanomaterials->.
- Anderson, M.A., Cudero, A.L. & Palma, J., 2010. Capacitive deionization as an electrochemical means of saving energy and delivering clean water. Comparison to present desalination practices: Will it compete? *Electrochimica Acta*, 55(12), pp.3845–3856.
- Bahraeian, S. et al., 2013. Study on Synthesis of Polypyrrole via Chemical Polymerization Method. *Advanced Materials Research*, 795(SEPTEMBER 2013), pp.707–710. Available at: <http://www.scientific.net/AMR.795.707>.
- Bandgar, D.K. et al., 2012. Facile and novel route for preparation of nanostructured polyaniline (PANi) thin films. *Applied Nanoscience*, 4(1), pp.27–36. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s13204-012-0175-8>.
- Blinova, N. V. et al., 2007. Polyaniline and polypyrrole: A comparative study of the preparation. *European Polymer Journal*, 43(6), pp.2331–2341.
- Cakmak, G., Küükyavuz, Z. & Küükyavuz, S., 2005. Conductive copolymers of polyaniline, polypyrrole and poly(dimethylsiloxane). *Synthetic Metals*, 151(1), pp.10–18.

- Cheng, F. et al., 2006. Conducting poly(aniline) nanotubes and nanofibers: Controlled synthesis and application in lithium/poly(aniline) rechargeable batteries. *Chemistry - A European Journal*, 12(11), pp.3082–3088.
- Daer, S. et al., 2015. Recent applications of nanomaterials in water desalination: A critical review and future opportunities. *Desalination*, 367, pp.37–48. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2015.03.030>.
- Diaz, P. et al., Evaluating capacitive deionization for water desalination by direct determination of chloride ions. , pp.1–23.
- Dubal, D.P. et al., 2013. Polyaniline-polypyrrole nanograined composite via electrostatic adsorption for high performance electrochemical supercapacitors. *Journal of Alloys and Compounds*, 552, pp.240–247.
- Farrokhzad, H., Van Gerven, T. & Van Der Bruggen, B., 2013. Preparation and characterization of a conductive polyaniline/polysulfone film and evaluation of the effect of co-solvent. *European Polymer Journal*, 49(10), pp.3234–3243. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2013.06.027>.
- Jia, B. & Zhang, W., 2016. Preparation and Application of Electrodes in Capacitive Deionization ( CDI ): a State-of-Art Review. *Nanoscale Research Letters*.
- Kementrian Lingkungan Hidup, I., 2012. *Status Lingkungan Hidup Indonesia 2012*,
- Kusumawati, D.H., Setyarsih, W. & Putri, P., 2008. Studi Pengaruh Arus Polimerisasi terhadap Konduktivitas Listrik Polianilin yang Disintesis dengan Metode Galvanostatik. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 4(1), pp.1–4.
- Lei, W. et al., 2014. One-step triple-phase interfacial synthesis of polyaniline-coated polypyrrole composite and its application as electrode materials for supercapacitors. *Journal of Power Sources*, 266, pp.347–352.
- Liu, Q. et al., 2012. Effect of dopants on the adsorbing performance of

- polypyrrole/graphite electrodes for capacitive deionization process. *Synthetic Metals*, 162(7-8), pp.655–661. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.synthmet.2012.01.015>.
- Lowell, S. et al., 2004. *Characterisation of Porous Solids and Powders*,
- Lu, G. et al., 2016. Enhanced capacitive deionization performance with carbon electrodes prepared with a modified evaporation casting method. *Desalination*, 386, pp.32–38.
- Maddu, A., Wahyudi, S.T. & Kurniatins, M., 2008. Sintesis dan Karakterisasi Nanoserat Polianilin. *Jurnal Nanosains & nanoteknologi*, 1(2).
- Mi, H. et al., 2008. Preparation and enhanced capacitance of core-shell polypyrrole/polyaniline composite electrode for supercapacitors. *Journal of Power Sources*, 176(1), pp.403–409.
- Mihardi, I., 2008. *Karakteristik Optik Dan Listrik Polianilin Yang Di- Doped HCl*, Bogor: Departemen Fisika, FMIPA IPB.
- Mujib, S. & Muntini, S., 2013. Perancangan Sensor Kelembaban Beras Berbasis Kapasitor. , 1(1), p.3.
- nishikicho, kanda, 2013. *X-ray Diffractometer*, Japan: Shimadzu.
- Nishio, K. et al., 1996. Characteristics of polypyrrole chemically synthesized by various oxidizing reagents. *Journal of Applied Electrochemistry*, 26(4), pp.425–429.
- Oraon, R. et al., 2016. Enhanced Specific Capacitance of Self-Assembled Three-Dimensional Carbon Nanotube/Layered Silicate/Polyaniline Hybrid Sandwiched Nanocomposite for Supercapacitor Applications. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 4(3), pp.1392–1403.
- Porada, S. et al., 2013. Review on the science and technology of water desalination by capacitive deionization. *Progress in Materials Science*, 58(8),

pp.1388–1442. Available at:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.pmatsci.2013.03.005>.

Sari, I.P. & Endarko, 2015. FABRIKASI DAN KARAKTERISASI ELEKTRODA KARBON UNTUK SISTEM DESALINASI LARUTAN KCl DENGAN METODE FREEZING THAWING. , 18(1), pp.17–24.

Seabra, A.B. & Durán, N., 2015. Nanotoxicology of Metal Oxide Nanoparticles. *Metals*, 5, pp.934–975. Available at: [www.mdpi.com/journal/metals/](http://www.mdpi.com/journal/metals/).

Su, N., 2015. Improving Electrical Conductivity, Thermal Stability, and Solubility of Polyaniline-Polypyrrole Nanocomposite by Doping with Anionic Spherical Polyelectrolyte Brushes. *Nanoscale research letters*, 10(1), p.301.

Suss, M.E. et al., 2015. Water desalination via capacitive deionization: what is it and what can we expect from it? *Energy Environ. Sci.*, 8(8), pp.2296–2319. Available at: <http://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2015/ee/c5ee00519a>.

Triwibowo, J., 2011. *UNIVERSITAS INDONESIA REKAYASA BAHAN Li*,

Velhal, N. et al., 2014. Studies on galvanostatically electropolymerised polypyrrole/polyaniline composite thin films on stainless steel. *Applied Surface Science*, 307, pp.129–135.

Wang, Y. et al., 2014. Polypyrrole/carbon nanotube composites as cathode material for performance enhancing of capacitive deionization technology. *Desalination*, 354, pp.62–67.

Wang, Y. et al., 2015. Polypyrrole/polyaniline composites with enhanced performance for capacitive deionization. *Desalination and Water Treatment*, 54(12), pp.3248–3256.

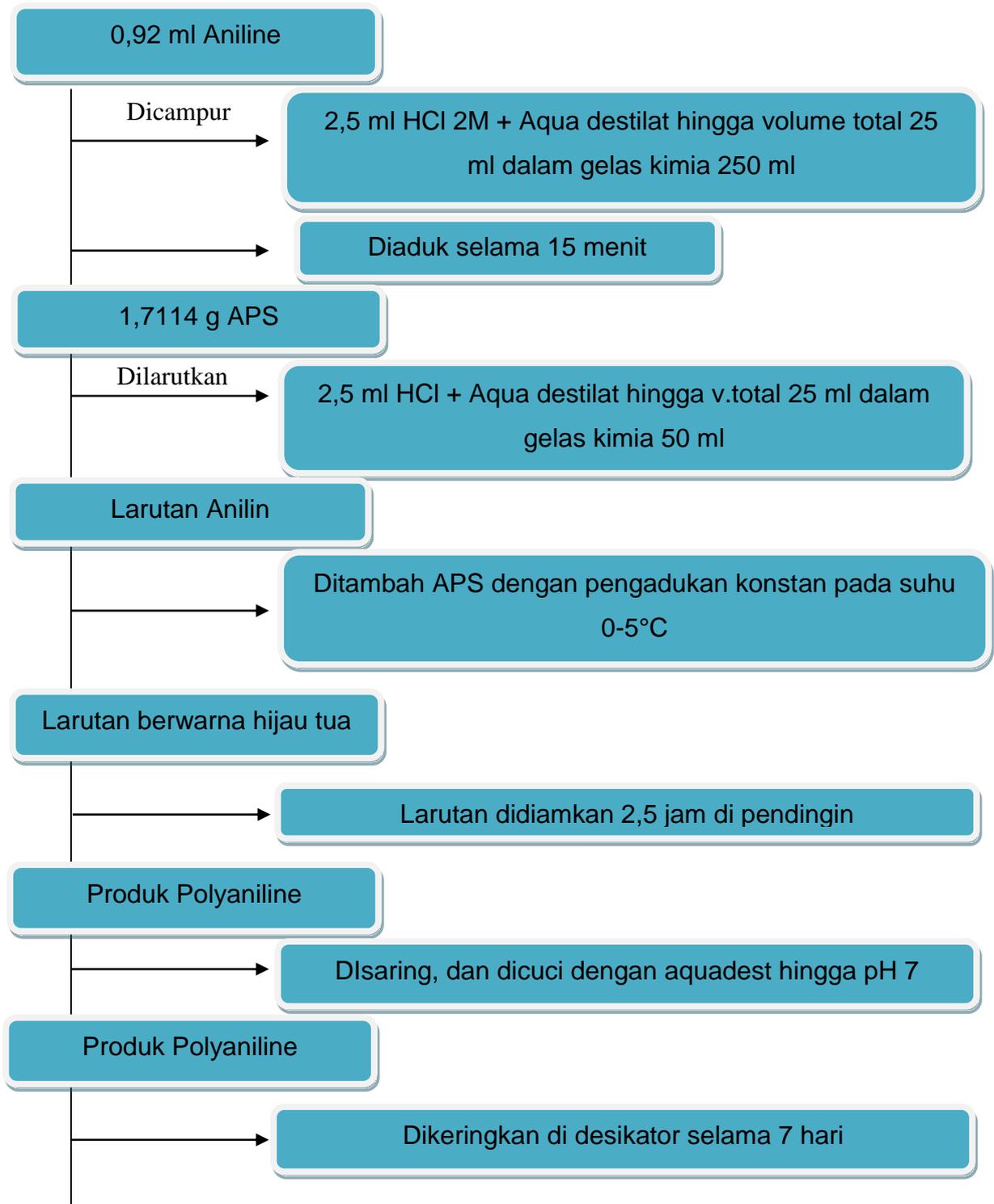
Xie, Y. & Wang, D., 2016. Supercapacitance performance of polypyrrole/titanium nitride/polyaniline coaxial nanotube hybrid. *Journal of Alloys and Compounds*, 665, pp.323–332. Available at:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.01.089>.

- Xing, S. et al., 2006. Preparation and Characterization of Polyaniline– Polypyrrole Composite from Polyaniline Dispersions. *Journal of Applied Polymer Science*.
- Xu, H., Li, X. & Wang, G., 2015. Polyaniline nanofibers with a high specific surface area and an improved pore structure for supercapacitors. *Journal of Power Sources*, 294, pp.16–21.
- Xu, X. et al., 2016. Design and fabrication of mesoporous graphene via carbothermal reaction for highly efficient capacitive deionization. *Electrochimica Acta*, 188, pp.406–413.
- Yilmaz, F., 2007. Polyaniline: Synthesis, Characterization, Solution Properties and Composites. *Department of Polymer Science and Technology*, (July), p.148.
- Yoon, H. et al., 2016. Capacitive deionization with Ca-alginate coated-carbon electrode for hardness control. *Desalination*, 392, pp.46–53.
- Zhao, R. et al., 2013. Energy consumption in membrane capacitive deionization for different water recoveries and flow rates, and comparison with reverse osmosis. *Desalination*, 330, pp.35–41. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2013.08.017>.
- Zhao, Y. et al., 2015. Effect of additives on the properties of polyaniline nanofibers prepared by high gravity chemical oxidative polymerization. *Langmuir*, 31(18), pp.5155–5163.

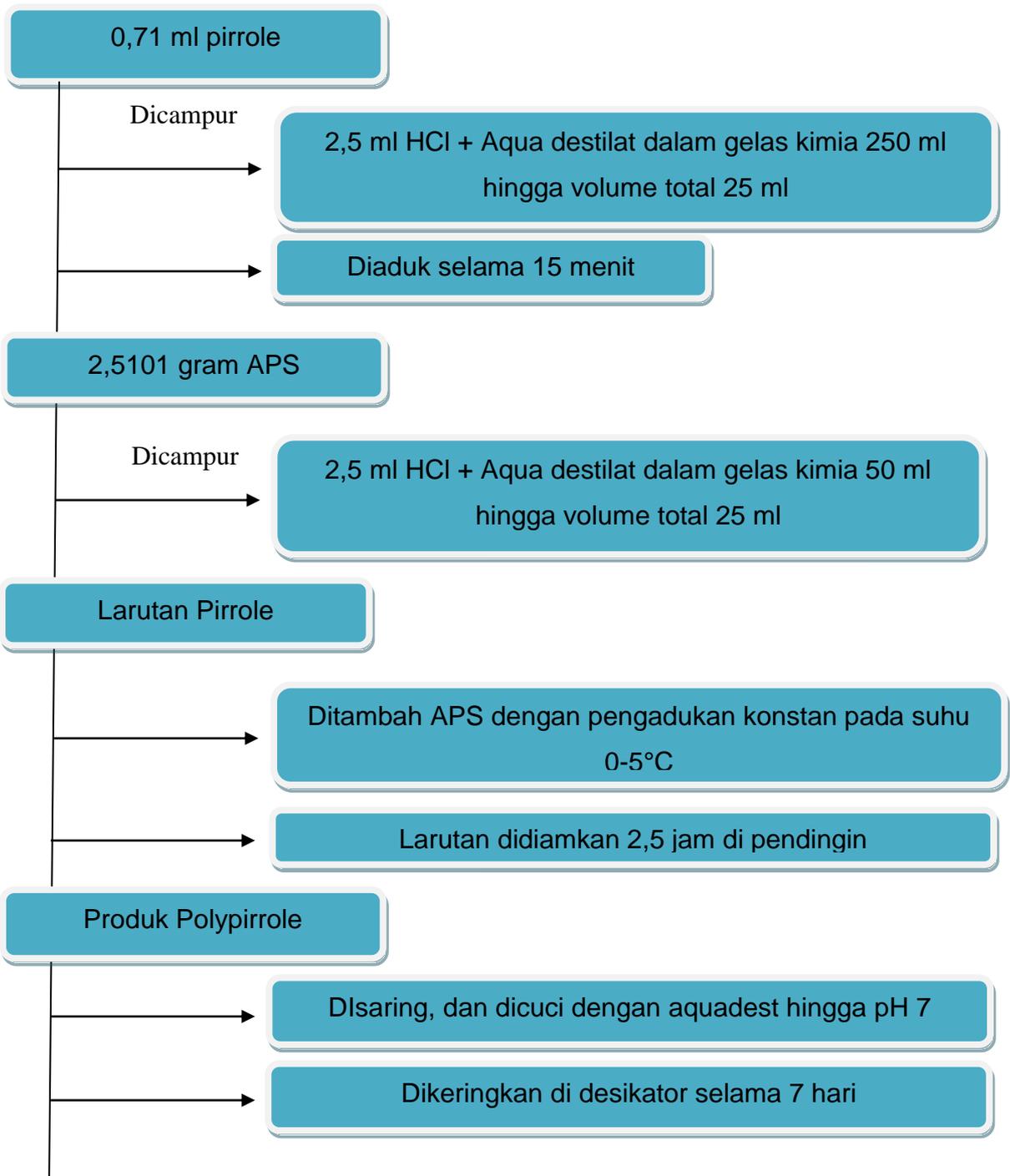
## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Bagan Kerja

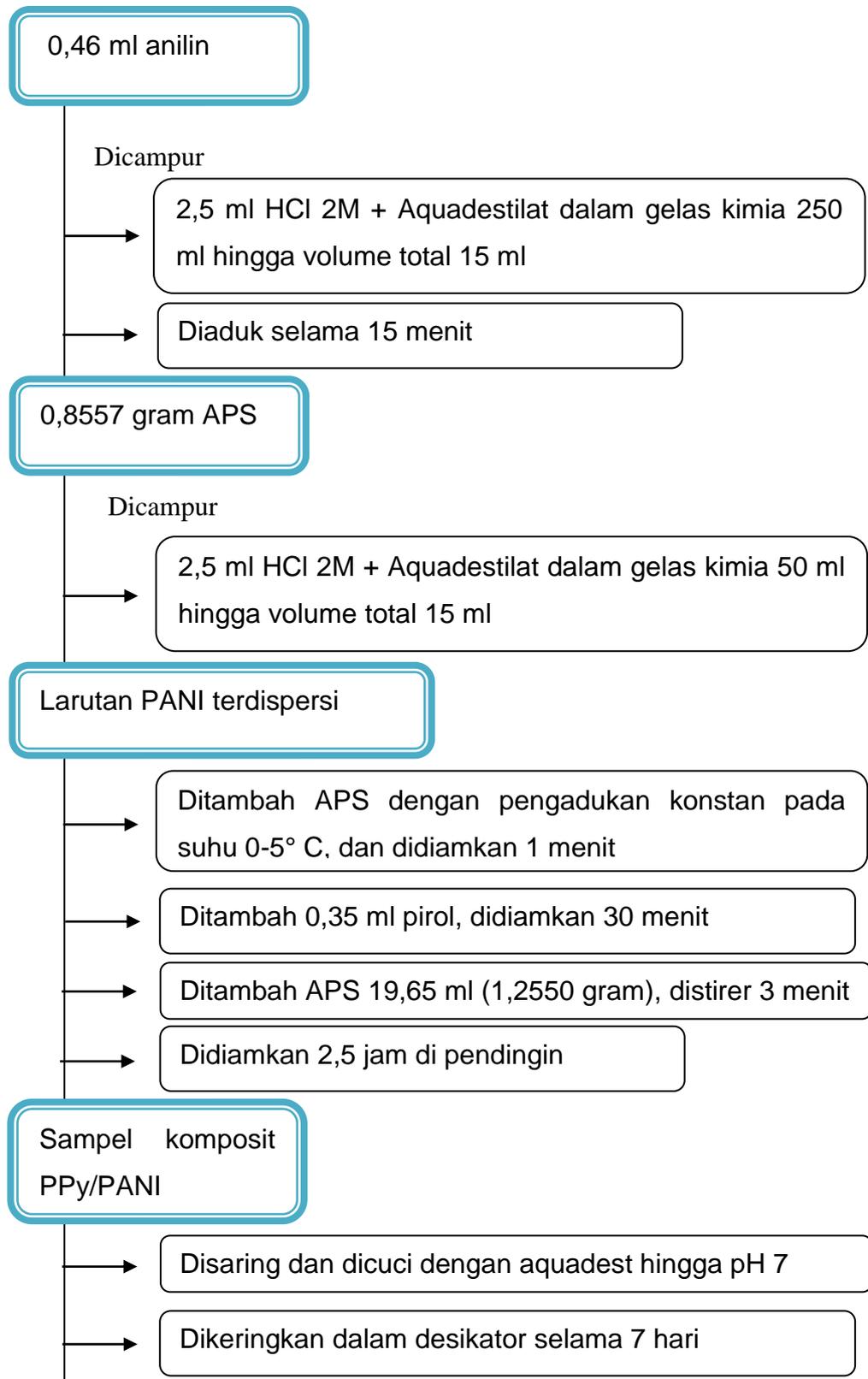
#### 1. Sintesis Polianilin



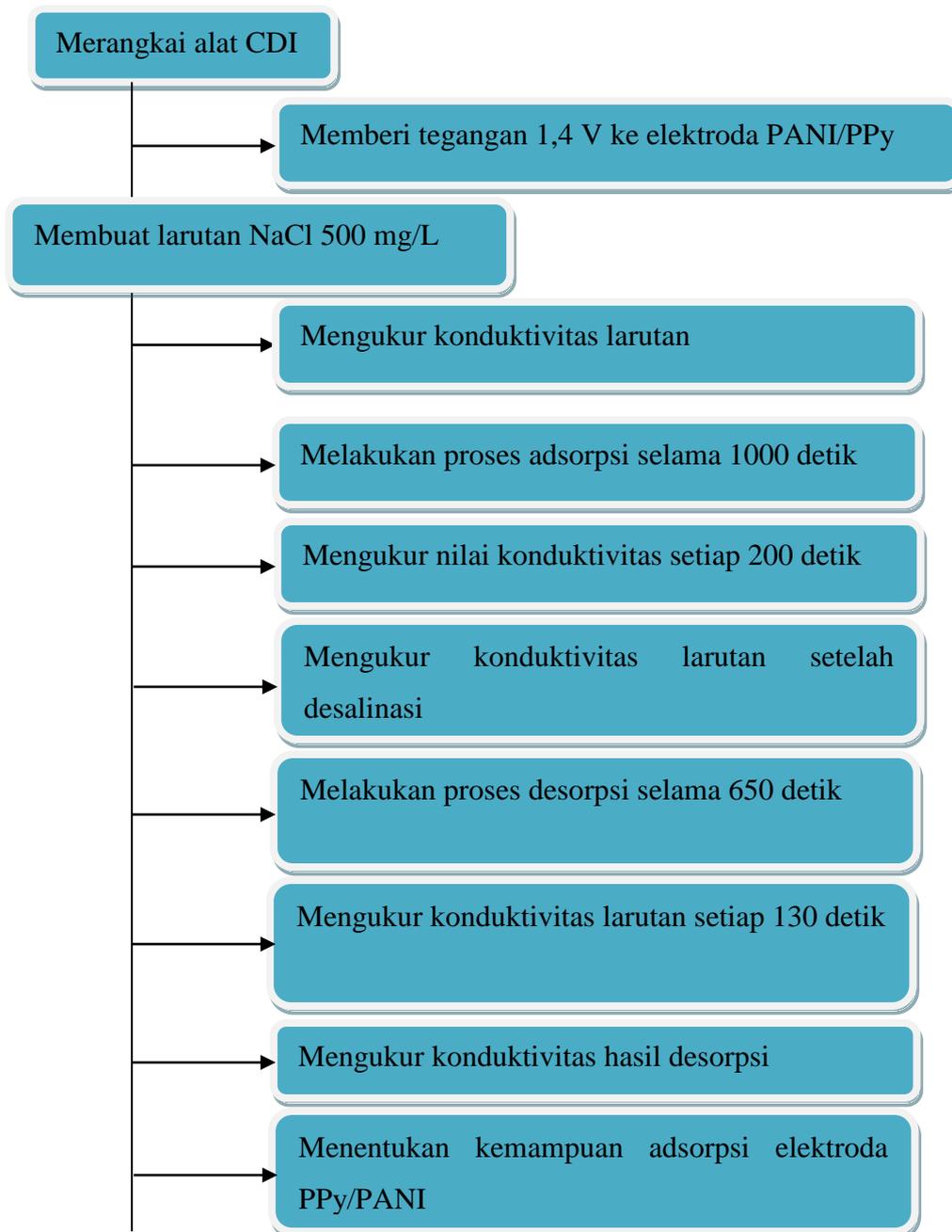
## 2. Sintesis Polipirrol



## 3. Sintesis Komposit PANI/PPy dari Monomer Pirol dan Anilin

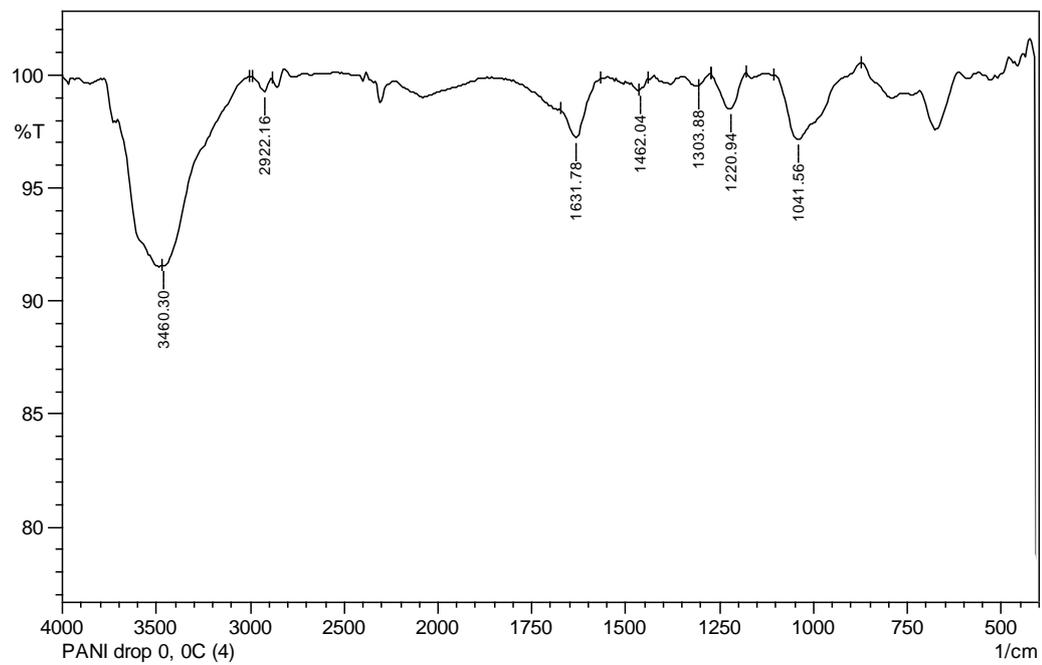


## 4. Test Desalinasi

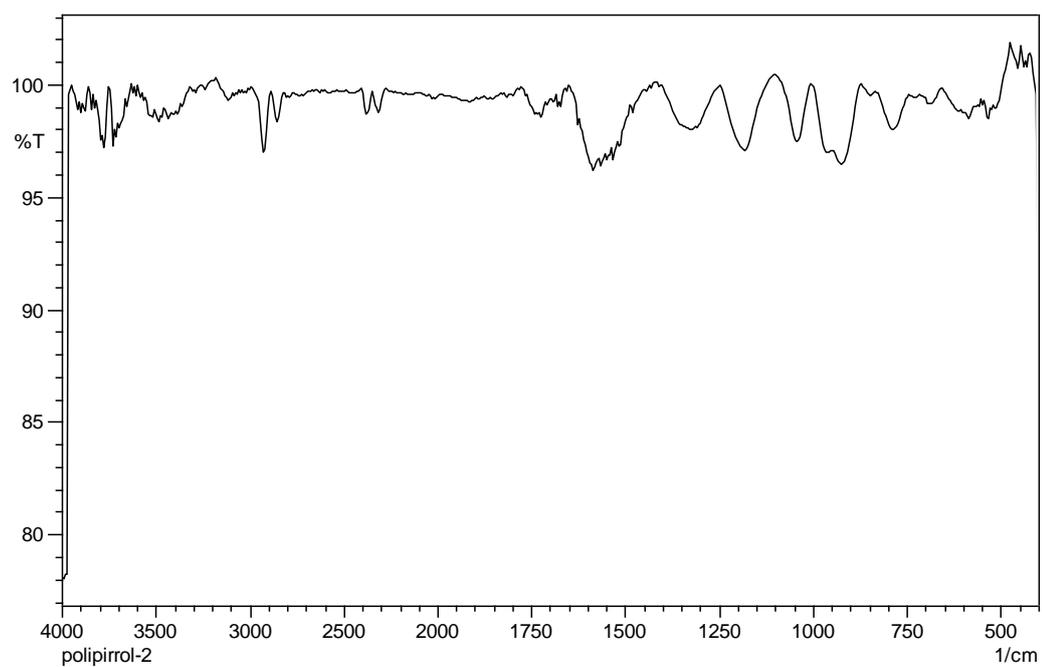


## Lampiran 2. Data FTIR

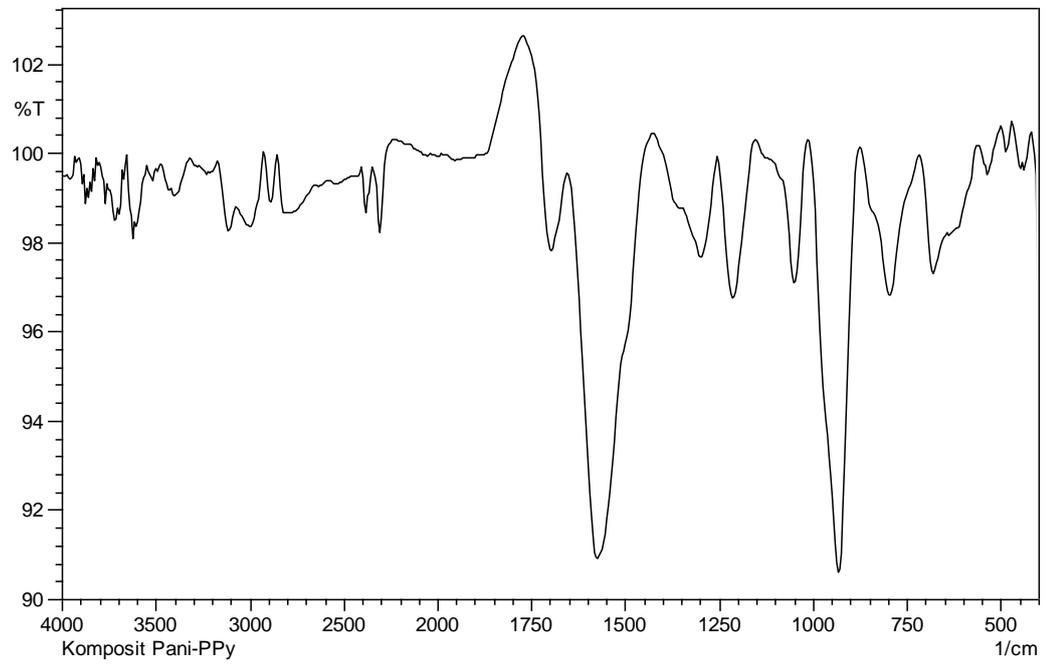
### 1. Grafik FTIR Polianilin (PANI)



### 2. Grafik FTIR Polipirol (PPy)



### 3. Grafik FTIR Komposit PANI/PPy



## Lampiran 3. Data SAA

### 1. Data SAA Polianilin (PANI)

ASAP 2020 V4.02 (V4.02 E)

Unit 1

Serial #: 2041

Page 1

Sample: Polianilin D  
 Operator: Lab Kimia  
 Submitter: UNJ  
 File: C:\2020\DATA\000-086.SMP

|  |   |
|--|---|
| Started: 10/28/2016 12:00:54PM           | Analysis Adsorptive: N2                           |
| Completed: 10/28/2016 3:02:14PM          | Analysis Bath Temp.: -195.844 °C                  |
| Report Time: 10/28/2016 3:48:33PM        | Thermal Correction: No                            |
| Sample Mass: 0.1500 g                    | Warm Free Space: 27.1640 cm <sup>3</sup> Measured |
| Cold Free Space: 83.2710 cm <sup>3</sup> | Equilibration Interval: 5 s                       |
| Ambient Temperature: 22.00 °C            | Low Pressure Dose: None                           |
| Automatic Degas: Yes                     |   |

#### Summary Report

##### Surface Area

Single point surface area at P/Po = 0.268384132: 41.4654 m<sup>2</sup>/g  
 BET Surface Area: 42.1368 m<sup>2</sup>/g  
 Langmuir Surface Area: 209.9863 m<sup>2</sup>/g  
 t-Plot Micropore Area: 8.2176 m<sup>2</sup>/g  
 t-Plot External Surface Area: 33.9192 m<sup>2</sup>/g

BJH Adsorption cumulative surface area of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 28.593 m<sup>2</sup>/g

BJH Desorption cumulative surface area of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 29.4062 m<sup>2</sup>/g

##### Pore Volume

Single point adsorption total pore volume of pores  
 less than 124.7963 nm diameter at P/Po = 0.984383446: 0.154374 cm<sup>3</sup>/g  
 t-Plot micropore volume: 0.003879 cm<sup>3</sup>/g

BJH Adsorption cumulative volume of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 0.146277 cm<sup>3</sup>/g

BJH Desorption cumulative volume of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 0.146693 cm<sup>3</sup>/g

##### Pore Size

Adsorption average pore width (4V/A by BET): 14.65457 nm

BJH Adsorption average pore diameter (4V/A): 20.4636 nm

BJH Desorption average pore diameter (4V/A): 19.9540 nm

##### Freundlich

Qm-C: 1.9951 ± 0.3906 cm<sup>3</sup>/g STP

n: 2.5586 ± 0.5186

## 2. Data SAA Polipirol (PPy)

ASAP 2020 V4.02 (V4.02 E)

Unit 1

Serial #: 2041

Page 1

Sample: PPy 100%  
 Operator: Lab Kimia  
 Submitter: UNJ  
 File: C:\2020\DATA\000-129.SMP

|  |   |
|--|---|
| Started: 3/16/2017 10:08:17AM            | Analysis Adsorptive: N2                           |
| Completed: 3/16/2017 5:35:06PM           | Analysis Bath Temp.: -195.822 °C                  |
| Report Time: 3/16/2017 7:34:14AM         | Thermal Correction: No                            |
| Sample Mass: 0.2600 g                    | Warm Free Space: 27.1060 cm <sup>3</sup> Measured |
| Cold Free Space: 82.6662 cm <sup>3</sup> | Equilibration Interval: 5 s                       |
| Ambient Temperature: 22.00 °C            | Low Pressure Dose: None                           |
| Automatic Degas: Yes                     |   |

## Summary Report

## Surface Area

Single point surface area at P/Po = 0.268299808: 14.5366 m<sup>2</sup>/gBET Surface Area: 14.8620 m<sup>2</sup>/gLangmuir Surface Area: 57.1973 m<sup>2</sup>/gt-Plot Micropore Area: 2.1400 m<sup>2</sup>/gt-Plot External Surface Area: 12.7121 m<sup>2</sup>/g

BJH Adsorption cumulative surface area of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 9.419 m<sup>2</sup>/g

BJH Desorption cumulative surface area of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 9.5435 m<sup>2</sup>/g

## Pore Volume

Single point adsorption total pore volume of pores  
 less than 124.1190 nm diameter at P/Po = 0.984296518: 0.026035 cm<sup>3</sup>/g

t-Plot micropore volume: 0.00966 cm<sup>3</sup>/g

BJH Adsorption cumulative volume of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 0.022946 cm<sup>3</sup>/g

BJH Desorption cumulative volume of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 0.022923 cm<sup>3</sup>/g

## Pore Size

Adsorption average pore width (4V/A) by BET: 7.01175 nm

BJH Adsorption average pore diameter (4V/A): 9.7449 nm

BJH Desorption average pore diameter (4V/A): 9.6080 nm

## Freundlich

Qm-C: 0.8225 ± 0.0968 cm<sup>3</sup>/g STP

n: 2.8575 ± 0.3886

## 3. Data SAA Komposit PANI/PPy

ASAP 2020 V4.02 (V4.02 E)

Unit 1

Serial #: 2041

Page 1

Sample: PANI : PPy (50 : 50)  
 Operator: Lab Kimia  
 Submitter: UNJ  
 File: C:\2020\DATA\000-142.SMP

|  |   |
|--|---|
| Started: 4/4/2017 3:13:04PM              | Analysis Adsorptive: N2                           |
| Completed: 4/4/2017 7:04:47PM            | Analysis Bath Temp.: -195.826 °C                  |
| Report Time: 4/4/2017 7:04:52PM          | Thermal Correction: No                            |
| Sample Mass: 0.2600 g                    | Warm Free Space: 25.6936 cm <sup>3</sup> Measured |
| Cold Free Space: 80.1693 cm <sup>3</sup> | Equilibration Interval: 5 s                       |
| Ambient Temperature: 22.00 °C            | Low Pressure Close: None                          |
| Automatic Degas: Yes                     |   |

## Summary Report

## Surface Area

Single point surface area at P/Po = 0.268442502: 43.3409 m<sup>2</sup>/gBET Surface Area: 44.6705 m<sup>2</sup>/gLangmuir Surface Area: 196.8619 m<sup>2</sup>/gt-Plot Micropore Area: 3.2680 m<sup>2</sup>/gt-Plot External Surface Area: 41.4025 m<sup>2</sup>/g

BJH Adsorption cumulative surface area of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 31.058 m<sup>2</sup>/g

BJH Desorption cumulative surface area of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 31.7310 m<sup>2</sup>/g

## Pore Volume

Single point adsorption total pore volume of pores  
 less than 143.5691 nm diameter at P/Po = 0.986461164: 0.107778 cm<sup>3</sup>/g

t-Plot micropore volume: 0.001200 cm<sup>3</sup>/g

BJH Adsorption cumulative volume of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 0.099479 cm<sup>3</sup>/g

BJH Desorption cumulative volume of pores  
 between 1.7000 nm and 300.0000 nm diameter: 0.099740 cm<sup>3</sup>/g

## Pore Size

Adsorption average pore width (4V/A by BET): 9.65091 nm

BJH Adsorption average pore diameter (4V/A): 12.8120 nm

BJH Desorption average pore diameter (4V/A): 12.5731 nm

## Freundlich

Qm·C: 2.0951 ± 0.3080 cm<sup>3</sup>/g STP

n: 2.6060 ± 0.4037

**Lampiran 4.** Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Komposit PANI/PPy 50:50%

1. Konsentrasi NaCl

$$M \text{ NaCl} = \frac{0,5 \text{ g NaCl}}{58,5 \text{ g/mol}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}}$$

$$= 8,5 \times 10^{-3} \text{ M}$$

2. Berat NaCl  $8,5 \times 10^{-3} \text{ M}$  dalam 100 mL

$$8,5 \times 10^{-3} \text{ M} = \frac{\text{g NaCl}}{58,5 \text{ g/mol}} \times \frac{1000}{100}$$

$$= 0,0497 \text{ gram}$$

3. Konsentrasi NaCl pada konduktivitas 1399  $\mu\text{S}$

$$\frac{85 \text{ mg/L}}{\text{Konsentrasi NaCl akhir}} = \frac{1428}{1399}$$

$$\text{Konsentrasi NaCl} = 83,27 \text{ mg/L}$$

3. Kapasitas Adsorpsi Komposit PANI/PPy 50:50%

$$\text{Kapasitas Adsorpsi} = \frac{(85 - 83,27) \cdot 0,1}{0,3430 \text{ g}}$$

$$= 0,504373 \text{ mg/g}$$

4. Kemampuan Penghilangan Garam

$$\% \text{ Penghilangan Garam} = \frac{1428 - 1399}{1428} \times 100\%$$

$$= 2,03\%$$

**Lampiran 5. Gambar Rangkaian Alat *Capacitive Deionization* (CDI)**



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



**Febri Rahmadi.** Lahir di Sukoharjo pada tanggal 6 Februari 1995. Penulis merupakan putra terakhir dari lima bersaudara dari pasangan Bapak Basuki Mujo Mulyono dan Ibu Muryantiyem. Saat ini penulis bertempat tinggal di Jl. Jelambar Jaya Gg. R RT. 04 RW.02 No. 47A Kelurahan Jelambar Baru, Kecamatan Grogol Petamburan, Jakarta Barat. Penulis menyelesaikan pendidikan formal di SD Negeri 09 Pagi Jakarta Barat, pada tahun 2001-2007, SMP Negeri 83 Jakarta Barat pada tahun 2007-2010, SMA Negeri 111 Jakarta Utara pada tahun 2010-2013, dan diterima di Program Studi Kimia FMIPA Universitas Negeri Jakarta pada tahun 2013 melalui jalur SNMPTN undangan. Selama perkuliahan penulis aktif dalam kegiatan organisasi kelas. Penulis pernah melakukan kunjungan ke beberapa industri, seperti PT. Coca Cola Amatil Indonesia, PT. Sari Roti, PT. Krakatau Steel Indonesia, PT. Semen Gresik Indonesia. Penulis pernah menjadi asisten dosen Praktikum Dasar Reaksi Anorganik II, dan Praktikum Struktur & Dasar Reaksi Anorganik.