

SINTESIS POLIANILIN DAN KARAKTERISTIK KINERJANYA SEBAGAI ANODA PADA SISTEM BATERAI ASAM SULFAT

SAHRUL HIDYAT^{1,†}, CHANDRA LEONARDO¹, MARIAH KARTAWIDJAJA¹, WAHYU ALAMSYAH¹,
IMAN RAHAYU²

¹Departemen Fisika FMIPA Universitas Padjadjaran

²Departemen Kimia FMIPA Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Bandung-Sumedang Km. 21, Jatinangor, Sumedang 45363

Abstrak. Polianilin (PANi) merupakan salah satu polimer konduktif yang memiliki sifat unggul dibandingkan polimer konduktif lainnya. Keunggulan tersebut diantaranya adalah stabilitas kimia dan fisiknya sangat baik, reaksi redoksnya bersifat reversibel, memiliki rentang konduktivitas yang lebar dan dapat disintesis dengan metode elektrokimia ataupun kimia. Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis PANi dengan metode kimia dan mengaplikasikannya sebagai elektroda pada sistem baterai isi ulang PANi/H₂SO₄/PbO₂. PANi disintesis dari monomer anilin di dalam pelarut 1M H₂SO₄ dengan menggunakan inisiator amonium peroksidisulfat. Hasil dari sintesis secara kimia diperoleh serbuk PANi dalam bentuk basa emeraldin dengan warna coklat kehitaman. Serbuk PANi selanjutnya dibuat menjadi elektroda dengan cara dilarutkan di dalam n-metilpirrolidinon (NMP) dan dideposisikan di atas substrat aluminium foil. Elektroda PANi selanjutnya dipasangkan dengan PbO₂ membentuk sistem baterai isi ulang dengan elektrolit H₂SO₄. Kajian yang dilakukan adalah menguji kinerja baterai PANi/H₂SO₄/PbO₂ terhadap variasi konsentrasi elektrolit. Hasil pengujian menunjukkan tegangan terbuka sistem baterai tersebut adalah 2,1 Volt. Tegangan kerja baterai bervariasi dari 1,5 Volt sampai 2 Volt pada pembebanan dengan arus konstan sekitar 10 mA sampai 80 mA. Selain itu, berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa semakin rendah konsentrasi elektrolit maka semakin kecil rentang dari tegangan kerja baterai tersebut.

Kata kunci : Polianilin, baterai isi ulang, kinerja baterai

Abstract. Polyaniline (PANi) is one of the conductive polymers that have special properties compared to the others. PANi have some advantages included the chemical and physical stability is excellent, redox reaction is reversible, the conductivity is wide range and PANi can be synthesized by chemical or electrochemical method. In this research, we have synthesis PANi by chemical methods and used it as electrodes in rechargeable battery system. The structures of battery system are PANi / H₂SO₄ / PbO₂. PANi has been synthesized from aniline as monomer in the solvent of 1M H₂SO₄ and using ammonium peroxydisulfate as initiator. The Results of synthesis is brown powder in the form of emeraldine-base. The battery electrode is made from PANi powder by means of dissolved in the n-metilpirrolidinon (NMP) and deposited onto the Al-foil substrate. The cell of rechargeable battery is made from PANi and PbO₂ electrode in the electrolyte of H₂SO₄. The focus of this research is study the battery performance of (PANi / H₂SO₄ / PbO₂) with variations the concentration of electrolyte. The results of this research, we have demonstrated the open voltage of the battery system is about 2.1 Volts. The working voltage of battery is varying from 1.5 Volts to 2 Volt at loading with a constant current of 10 mA until 80 mA. The working voltage of battery is depending to the concentration of electrolyte. The working voltage is decreasing proportional to the lower concentrations of electrolytes.

Keywords : Polyaniline (PANi), rechargeable battery, battery performance

1. Pendahuluan

Baterai adalah sel elektrokimia yang terdiri dari sepasang elektroda (katoda-anoda) dan elektrolit, sel ini berfungsi sebagai sumber energi listrik yang diperoleh sebagai hasil konversi energi kimia melalui reaksi redoks (reduksi dan oksidasi). Reaksi reduksi berlangsung pada katoda dan reaksi oksidasi berlangsung pada anoda. Seiring dengan reaksi redoks tersebut, dalam sel betere terjadi

[†] email : sahrul@unpad.ac.id

proses difusi ion dalam larutan dari katoda ke anoda, dan pada rangkaian luar terjadi transfer elektron dari anoda ke katoda.

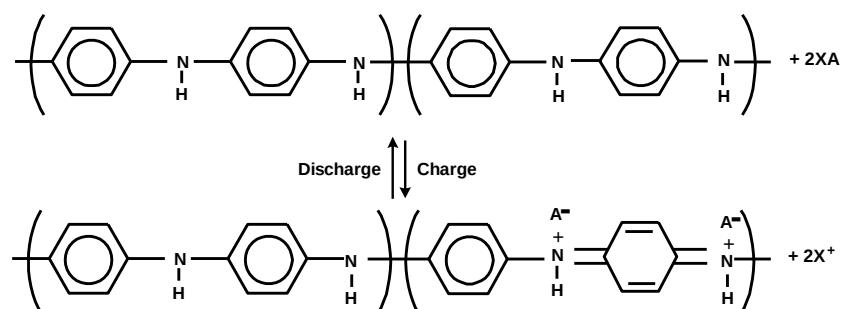
Secara umum sistem baterai dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu sistem baterai primer dan sistem baterai sekunder. Sistem baterai primer merupakan baterai yang tidak dapat diisi ulang setelah habis massa pemakaiannya, sedangkan sistem baterai sekunder dapat diisi ulang. Untuk sistem baterai sekunder, bahan katoda dan anoda harus bersifat recyclable, yaitu dapat terbentuk kembali bila diberi tegangan listrik dari luar, melalui reaksi kimia yang bersifat reversibel. Reaksi kimia dalam sel baterai sekunder dapat dikembalikan oleh pemberian tegangan luar, yaitu dengan membalik polaritas tegangan sehingga reaksi berlangsung ke arah yang berlawanan dengan arah reaksi redoks semula.

Baterai isi ulang yang saat ini pemakaiannya sangat luas adalah jenis baterai accu (*lead acid battery*) dan jenis baterai lithium ion. Baterai accu sampai saat ini masih mendominasi untuk pemakaian listrik dengan daya besar, misalnya catu daya pada mobil, pembangkit listrik energi terbarukan dan mobil listrik. Baterai jenis accu secara kinerja memiliki kualitas yang baik, hanya memiliki masalah dalam bobot yang sangat berat [1,2]. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah mengurangi bobot baterai accu dengan mengganti elektroda Pb dengan elektroda lain yang lebih ringan. Salah satu alternatif yang dapat menggantikan fungsi elektroda Pb adalah polimer konduktif.

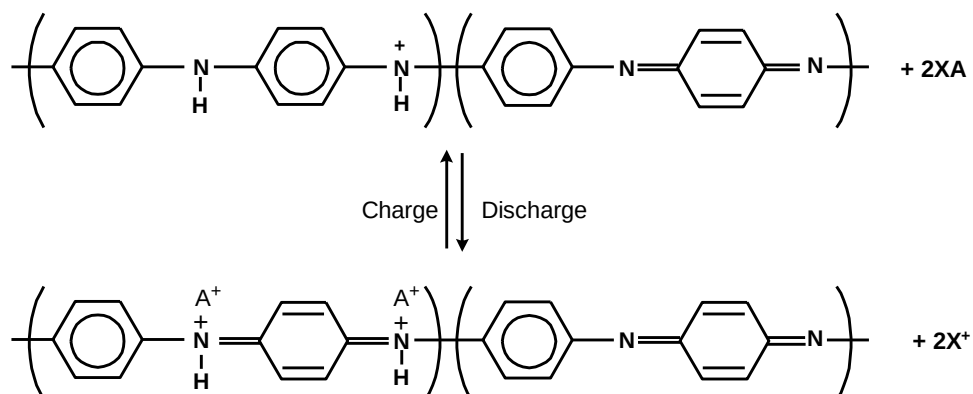
Salah satu polimer konduktif yang banyak diteliti untuk aplikasi elektroda baterai adalah polianilin. Polianilin, bila dibandingkan dengan polimer konduktif lainnya mempunyai beberapa keunggulan diantaranya [3, 5]:

- Polianilin dapat disintesis secara mudah, baik dengan cara elektrokimia atau cara kimia
- Polianilin dapat disintesis dalam jumlah banyak (mass production) dengan cara relatif sederhana, sehingga sangat menguntungkan untuk kepentingan aplikasi industri
- Reaksi redoks polianilin bersifat reversibel dan relatif stabil sampai ribuan kali

Polianilin pada tingkat oksida apapun dapat digunakan sebagai elektroda baterai, baik sebagai elektroda positif (katoda) ataupun sebagai elektroda negatif (anoda). Proses redoks polianilin dapat berlangsung secara reversibel, sehingga polianilin merupakan elektroda yang baik pada sistem baterai sekunder. Proses pengisian-pengosongan sel baterai PANi dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu pengisian-pengosongan pasangan basa leukoemeraldin-garam emeraldin dan pasangan basa emeraldin-garam pernigranilin seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2 [4].



Gambar 1. Reaksi reduksi-oksidasi pasangan basa leukoemeraldin/garam emeraldin



Gambar 2. Reaksi reduksi-oksidasi pasangan basa emeraldin/garam pernigranilin

Pada elektroda positif, saat proses charge PbSO_4 berubah menjadi PbO_2 dan H_2SO_4 , sedangkan pada proses discharge PbO_2 berubah menjadi PbSO_4 dan H_2O . Pasangan reaksi reduksi dan oksidasi pada elektroda positif adalah sebagai berikut:



Hail penelitian yang dituliskan pada paper ini bertujuan untuk membuat dan mempelajari kinerja sistem baterai polianilin- PbO_2 . Konfigurasi sistem baterai yang dibuat adalah $[\text{PANi-NMP} | \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Akuades} | \text{PbO}_2]$. Polianilin yang dipergunakan sebagai material anoda disintesis dengan metoda kimia, sedangkan PbO_2 sebagai material katoda diperoleh dari elektroda baterai komersial.

2. Eksperimen

Polimerisasi PANi secara kimiawi dilakukan dari monomer anilin dalam pelarut asam klorida dengan menggunakan inisiator amonium persulfat. Bahan-bahan yang digunakan dalam sintesis PANi adalah anilin (Merck, 99,9%), asam klorida (Merck, 37%), amonium persulfat (Merck, 98%), amonium hidroksida (Merck, 25%), tetrahidrifuran (Merck, p.a.), metanol (Merck, p.a.), dan akuades.

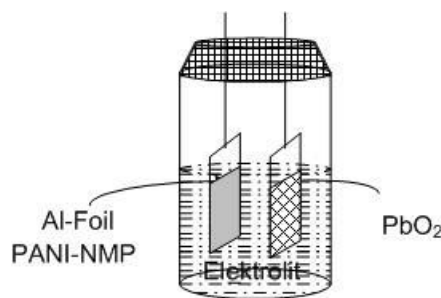
Proses polimerisasi dilakukan dengan pencampuran larutan inisiator ke dalam larutan anilin disertai dengan pengadukan menggunakan alat pengaduk magnetik. Pencampuran dilakukan dengan meneteskan larutan inisiator ke dalam larutan anilin secara teratur sebanyak 2 ml per menit. Kondisi polimerisasi dijaga konstan pada suhu sekitar 0°C . Proses polimerisasi ditandai dengan timbulnya perubahan warna campuran berturut-turut dari kuning bening, ke hijau muda, hijau tua, biru muda, dan akhirnya menjadi biru tua. Setelah proses polimerisasi selesai, pengadukan dilanjutkan selama kurang lebih 4 jam, sampai terbentuk endapan berwarna biru kehitaman.

Selanjutnya untuk mendapatkan PANi-EB, endapan hasil polimerisasi di atas dideprotonasi dengan mencampurkan larutan NH_4OH sampai pH campurannya menjadi ≥ 8 . Kemudian campuran tersebut diaduk selama kurang lebih 15 jam, sehingga semua bagian PANi terdeprotonasi secara homogen. Endapan PANi-EB selanjutnya dicuci dengan aquades dan methanol sampai filtratnya menunjukkan warna bening, setelah itu diekstraksi dengan 0,2M tetrahidrofuran (THF) untuk membuang PANi-EB yang berantai pendek. Endapan tersebut selanjutnya dikeringkan dalam desikator vakum dan digerus sehingga menghasilkan bubuk PANi-EB yang berwarna kecoklatan.

Selanjutnya dilakukan plastisasi yang bertujuan untuk mengubah sifat mekanik PANi yang dihasilkan dari sintesis metoda kimia menjadi lebih baik, yaitu dapat melekat dengan kuat pada substratnya. Bahan-bahan yang digunakan terdiri dari PANi dalam bentuk basa emeraldin dan pelarut N-metilpirrolidinon (NMP). Proses tersebut terdiri dari tiga tahapan, yaitu pembuatan larutan 1,4% PANi-NMP, proses casting, dan pengeringan. Pembuatan larutan 1,4% PANi-NMP dilakukan dengan menambahkan 0,143 gr PANi dengan cara sedikit demi sedikit ke dalam 10 ml NMP sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Pengadukkan dilanjutkan selama sekitar 24 jam sampai dihasilkan larutan PANi-NMP yang homogen.

Selanjutnya untuk proses casting, diawali dengan penyiapan substrat yaitu membersihkan substrat dalam ultrasonic bath selama kurang lebih 30 menit sampai diperoleh substrat yang bersih dari kotoran dan lemak. Selanjutnya proses solution casting dilakukan dengan cara casting biasa, yaitu meneteskan larutan PANi-NMP ke atas substrat sedikit demi sedikit sehingga diperoleh lapisan dengan ketebalan merata. Tahapan terakhir yaitu proses pengeringan dilakukan di dalam oven dengan temperatur dijaga konstan sekitar 50°C. Proses pengeringan tersebut dilakukan selama sekitar 12 jam, yaitu sampai diperoleh film PANi-NMP yang betul-betul kering.

Konstruksi baterai yang dibuat terdiri dari polianilin yang berfungsi sebagai elektroda negatif, PbO₂ sebagai elektroda positif, dan H₂SO₄ yang dilarutkan dalam aquades sebagai elektrolit. Model baterai yang dibuat merupakan model sel gelas seperti diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skematik sel baterai PANi-PbO₂

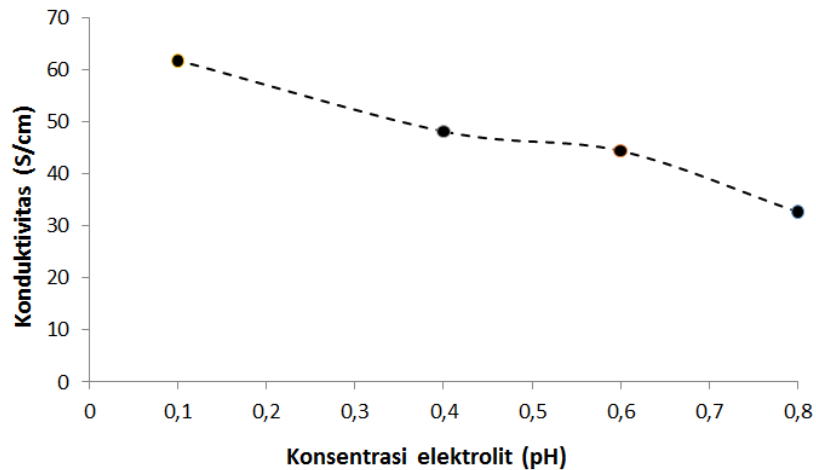
Pengujian kinerja sistem baterai terdiri dari pengujian tegangan operasional sel baterai, pengujian karakteristik *charge-discharge*, pengujian pembebanan baterai dengan variasi arus konstan dan pengujian pembebanan baterai dengan LED.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil sintesis dengan resep seperti pada metode penelitian adalah PANi berbentuk bubuk berwarna coklat kehitaman sebanyak 15 gram. PANi yang dihasilkan diidentifikasi sebagai bentuk basa emeraldin. Untuk meningkatkan sifat mekanik PANi, selanjutnya dilakukan plastisasi menggunakan pelarut N-metilpirrolidinon (NMP). Secara visual PANi yang telah diplastisasi dengan NMP terlihat berbentuk film yang mulus dan dapat melekat dengan kuat pada substratnya.

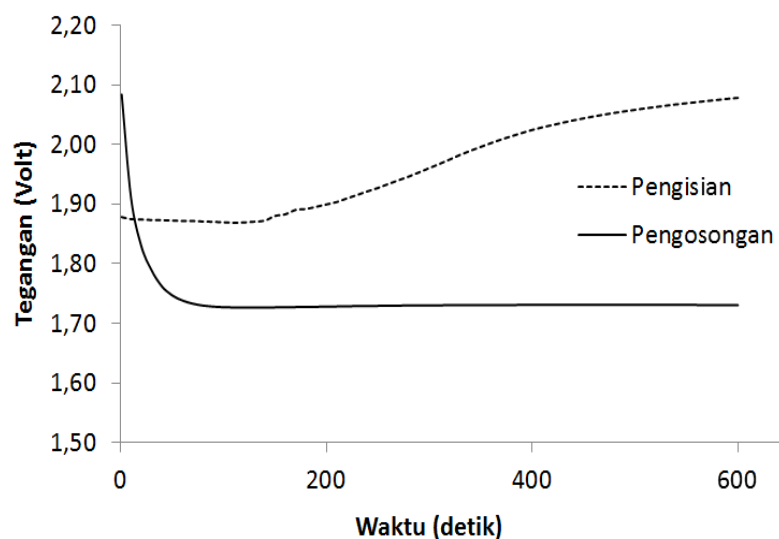
Pengujian konduktivitas dilakukan untuk menguji kualitas PANi yang telah diplastisasi. Pengujian konduktivitas dilakukan terhadap sampel PANi yang telah didoping dengan beberapa variasi konsentrasi H₂SO₄. Hasil dari pengujian tersebut diperlihatkan pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4, nilai konduktivitas cenderung mengalami penurunan seiring dengan naiknya nilai pH

larutan doping. Konduktivitas PANi berkisar antara 35 S/cm sampai 60 S/cm. Nilai tersebut sudah cukup baik untuk diaplikasikan sebagai elektroda baterai.



Gambar 4. Konduktivitas elektroda PANi terhadap variasi konsentrasi doping H_2SO_4

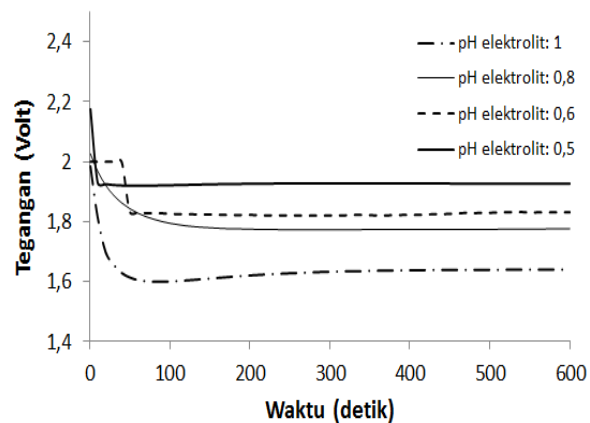
Untuk menguji kualitas PANi sebagai elektroda baterai, dibuat struktur baterai seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Sel baterai yang dibuat memiliki luas elektroda sekitar 4 cm^2 , dengan tidak memperhitungkan berat massa elektroda PANi ataupun PbO_2 . Kinerja baterai diuji dengan melakukan pengisian-pengosongan dengan arus konstan sebesar 20 mA. Pengisian sel baterai dilakukan selama kurang lebih 10 menit dan dikosongkan dengan alat *automatic battery loader* selama sekitar 10 menit. Grafik hasil pengukuran pengisian-pengosongan dengan arus konstan 20 mA diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Karakteristik pengisian-pengosongan baterai dengan arus 20 mA

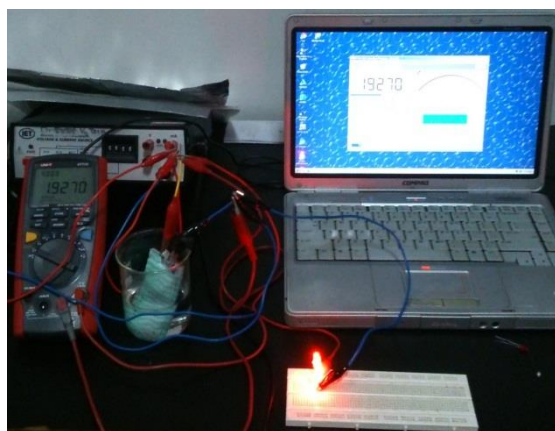
Berdasarkan Gambar 5, tampak tegangan pengisian bervariasi antara 1,88 Volt sampai 2,09 Volt. Selama pengisian tegangan baterai mengalami kenaikan yang mengindikasikan terjadinya reaksi redoks pada kedua elektroda. Pada proses pengisian, bagian katoda mengalami reaksi oksidasi,

yaitu PbSO_4 berubah menjadi PbO_2 . Sedangkan pada anoda, PANi-ES mengalami reaksi reduksi menjadi PANi EB. Sebaliknya pada saat pengosongan, tegangan cenderung mengalami penurunan dan konstan setelah mendekati nilai 1,7 Volt. Hal tersebut menunjukkan bahwa tegangan kerja baterai pada pembebanan arus konstan 20 mA adalah sekitar 1,7 Volt. Pada proses pengosongan, katoda mengalami reduksi dari PbO_2 menjadi PbSO_4 , sedangkan bagian anoda mengalami oksidasi dari PANi-EB menjadi PANi-ES.



Gambar 6. Karakteristik pembebanan baterai terhadap variasi konsentrasi elektrolit

Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi elektrolit terhadap kinerja baterai, dilakukan pengujian pengisian-pengosongan sel baterai pada variasi pH elektrolit 0,5; 0,6 ; 0,8 dan 1. Hasil pengujian kinerja baterai untuk karakteristik pembebanan pada arus konstan sebesar 10 mA diperlihatkan pada Gambar 5. Berdasarkan Gambar 5 tampak bahwa tegangan kerja baterai bervariasi antara 1,64 Volt sampai 1,93 Volt tergantung konsentrasi elektrolit. Semakin kecil nilai pH atau semakin tinggi konsentrasi H_2SO_4 , maka tegangan kerja baterai semakin tinggi. Sebagai perbandingan, bahwa pada baterai accu komersial pH elektrolit adalah 0,1. Konsentrasi elektrolit pada baterai komersial jauh lebih tinggi dibandingkan dengan yang dipakai pada penelitian ini. Pada penelitian ini konsentrasi elektrolit dioptimasi supaya tidak terlalu tinggi tetapi kinerja baterai tetap baik. Harapannya usia pemakaian baterai bisa semakin lama, karena dengan rendahnya konsentrasi elektrolit maka proses korosi pada material konektor akan terhambat.



Gambar 7. Pembebanan baterai dengan menyalakan 5 buah LED

Gambar 7 memperlihatkan hasil pengujian baterai pada pembebanan dengan menyalakan 5 buah LED. Pada gambar tersebut tampak bahwa kelima LED yang dipasang secara paralel dapat menyala dengan terang. Tegangan kerja baterai pada pembebanan dengan LED tersebut adalah 1,92 Volt.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah berhasil disintesis PANi dengan metode kimia dalam bentuk serbuk. Konduktivitas PANi bervariasi antara 30 S/cm sampai 60 S/cm berkorelasi dengan kenaikan konsentrasi doping H_2SO_4 . PANi hasil sintesis yang diplastisasi dengan pelarut NMP, dapat digunakan sebagai material aktif dalam sistem baterai isi ulang dengan pasangan PbO_2 . Tegangan operasional baterai berkisar antara 1,5 Volt sampai 2 Volt. Tegangan operasional baterai dipengaruhi oleh konsentrasi elektrolit. Pada pembebanan dengan arus konstan, tegangan operasional baterai menunjukkan kecenderungan penurunan terhadap naiknya pH elektrolit.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah membiayai penelitian ini melalui Hibah STRANAS, sesuai dengan Surat Perintah Pelaksanaan Pekerjaan Nomor: 023.04.2/189726/2014

Daftar Pustaka

1. B. N. Grgur, A. Žeradjanin, M. Gvozdenovic, M. D. Maksimovic, T. Lj. Trišovic, B. Z. Jugovic, *Electrochemical characteristics of rechargeable polyaniline/lead dioxide cell*, J. of Power Sources, Vol. 217 (2012), p. 193–198.
2. B. Cheraghi, A. R. Fakhari, S. Borhani, A. A. Entezami, *Chemical and electrochemical deposition of conducting polyaniline on lead*, J. of Electroanalytical Chemistry, Vol. 626, Issues 1–2 (2009), p. 116–122.
3. B. Scrosati, *Applications of Electroactive Polymers*, Chapman & Hall (1993), p. 183–220.
4. S. Hidayat, M. O. Tjia, *Karakteristik Model Baterai Sekunder Menggunakan Elektroda PANI-NMP*, Kontribusi Fisika Indonesia, Vol. 13 No.3 (2002), p. 165–168.
5. S. Hidayat, *Pengujian Kualitas Elektroda Baterai Berbahan Dasar Polianlin dengan Spektroskopi Infra Merah*, Seminar Nasional Energi, Bandung (2010), p. 70–74.