ANALISIS SIFAT LISTRIK KOMPOSIT POLIANILIN (PANi) TERHADAP PENAMBAHAN *BOTTOM ASH* SEBAGAI ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

Ria Susmita, Afdhal Muttaqin
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas
Kampus Unand, Limau Manis, Padang, 25163
e-mail: ria_susmita@yahoo.com

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan dan analisis sifat listrik elektroda superkapasitor berbahan dasar polimer PANi dengan penambahan *bottom ash*. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari sifat listrik polimer konduktif polianilin terhadap penambahan *bottom ash* dibawah pengaruh temperatur antara 308 K hingga 373 K. Sampel komposit PANi-*bottom ash* dibuat dalam bentuk tablet dengan ukuran tebal 0,324 cm, luas permukaan 1,3143 cm^2 dan massa jenis ± 1,3624 g/cm^3, dengan komposisi penambahan *bottom ash* 0 hingga 50% dari berat total sampel. Karakterisasi sifat listrik sampel dilakukan menggunakan rangkaian sederhana dengan media minyak sayur untuk memperoleh temperatur yang sesuai. Karakterisasi FTIR digunakan untuk memperoleh informasi dari gugus fungsi yang terbentuk akibat kombinasi PANi-*bottom ash*. Terlihat bahwa tidak ada gugus fungsi baru yang terbentuk dari komposit PANi-*bottom ash*. PANi yang didoping dengan *bottom ash* menjadi lebih konduktif. Konduktivitas tertinggi dimiliki oleh sampel PANi-B (70% PANi dan 30% *bottom ash*) dengan nilai konduktivitas 21,14 x 10^{-4} S/cm hingga 98,89 x 10^{-4} S/cm. Komposit PANi-*bottom ash* tidak mengalami perubahan wujud ketika dipanaskan hingga suhu 373 K, ini menunjukkan bahwa PANi-*bottom ash* lebih stabil terhadap perubahan temperatur.
Kata kunci : *bottom ash*, konduktivitas listrik, polianilin, polimer konduktif

ABSTRACT

Electrical properties of polymer polyaniline doped with various bottom ash as supercapasitor electrode have been syntesized and analysed. The electrical properties of PANi-bottom ash are influenced by temperature 308 K to 373 K, which are studied using the simple circuit with vegetable oil media to get the appropriate temperature. PANi-bottom ash composite are made into tablet with 0,324 cm thickness, 1,3143 cm^2 surface area, and ± 1,3624 g/cm^3 density, with bottom ash addition from 0 until 50% to total mass of sampel. FTIR characterization is used to get the information of the molecule function that is formed by the combination of PANi-bottom ash. There are no new molecules function detected in PANi-bottom ash composite. PANi which is doped with bottom ash becomes more conductive. The highest conductivity is obtained by Pani-B (70% PANi and 30% bottom ash) with a conductivity value from 21.14 x 10^{-4} S/cm to 98.89 x 10^{-4} S/cm. The composites of PANi-bottom ash are no changes of form when heated until temperature 373 K, indicating that PANi-bottom ash is more stable toward temperature changes.
Key words: bottom ash, electrical conductivity, polyaniline, conductive polymer

I. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan teknologi, superkapasitor menjadi salah satu topik penelitian yang saat ini menarik untuk dikembangkan. Menurut Chen dkk.(2003) bahan material yang dijadikan sebagai elektroda superkapasitor terbuat dari material komposit yaitu dengan menanamkan polimer konduktif pada permukaan karbon.

Polimer konduktif merupakan polimer yang dapat menghantarkan arus listrik seperti halnya logam. Polimer yang dalam keadaan normal tidak bersifat konduktif dapat ditingkatkan konduktivitasnya dengan memberikan penambahan pembawa muatan. Kemampuan polimer ini mengantarkan listrik terjadi karena adanya elektron ikatan terdelokalisasi yaitu kecendrungan elektron terluar untuk berpindah dari suatu tingkatan ke tingkatan energi lainnya. Salah satu polimer konduktif yang banyak dikembangkan saat ini adalah polianilin atau dapat disingkat dengan PANi (Maddu dkk, 2008).

Polianilin merupakan jenis polimer konduktif yang terbentuk dari monomer anilin ($C_6H_5NH_2$) (Kertati, 2009), memiliki sifat mudah untuk disintesis, kestabilan yang tinggi

terhadap lingkungan, mudah diubah konduktivitasnya dengan cara doping dan tahan korosi (Kroscwitz, 1990). Berdasarkan tingkat oksidasinya, PANi dapat disintesis dalam beberapa bentuk isolatifnya yaitu *Leucomeraldine Base* (LB) yang tereduksi penuh, *Emeraldine Base* (EB) yang teroksidasi setengah dan *Pernigraniline Base* (PB) yang teroksidasi penuh (Mihardi, 2008).

Dilihat dari tiga bentuk ini, LB dan PB memiliki keadaan yang tidak stabil dan tidak dapat dibuat konduktif , berbeda dengan EB. Hal ini menjadikan EB lebih bnyak diteliti secara luas (Shirakawa, 2001). EB dapat dibuat konduktif dengan doping asam protonik seperti HCl, dimana proton-proton ditambahkan ke situs-situs –N=, sementara jumlah elektron pada rantai tetap. Bentuk konduktif dari EB disebut *Emeraldine Salt* (ES). Konduktivitas PANi ES memiliki nilai berkisar antara 10^{-10} S/cm sampai 100 S/cm (Prastiwi, 2012).

Pengembangan aplikasi PANi ES sebagai bahan elektroda telah dilakukan dengan mengkombinasikan PANi ES dengan karbon. Adanya penambahan (PANi) pada karbon tersebut menyebabkan nilai kapasitasi superkapasitor meningkat dari 92 F/g (pada keadaan karbon murni) menjadi 180 F/g (Chen dkk, 2003). Arbizzani dkk (2008) telah melakukan penelitian superkapasitor dengan elektroda berbahan dasar pelarut elektrolit ionik liquid yang memiliki konduktivitas listrik 8,4 mS/cm pada suhu 60˚C.

Melihat sifat karbon sebelumnya yang mampu meningkatkan konduktivitas PANi, pemanfaatan *bottom ash* diharapkan juga menunjukkan sifat yang sama dengan karbon. Hal ini mengacu pada kesesuaian *bottom ash* dengan karbon, serta unsur logam yang banyak terkandung dalam *bottom ash* dapat menjadi sumber pembawa muatan (Tabel 1).

Tabel 1. Komponen Kimia *Bottom Ash* dari Batubara Muda

Komponen Kimia	Batas Khusus (%)
SiO_2	20-60
Al_2O_3	10-35
Fe_2O_3	5-35
CaO	1-20
MgO	0,3-4
Na_2O	1-4
K_2O	1-4

(Sumber : Braunstein dkk, 1977)

Pengujian sifat listrik (konduktivitas listrik) dilakukan untuk mengetahui respon PANi terhadap penambahan *bottom ash*. konduktivitas listrik merupakan kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan arus listrik. Pengaruh unsur – unsur pemadu, pengotor atau ketidaksempurnaan dalam kristal, sangat mempengaruhi konduktivitas suatu penghantar (Smallman dkk, 2000). Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai konduktivitas listrik sampel ditunjukkan pada Persamaan 1 dam Persamaan 2.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \tag{1}$$

$$\sigma = \frac{L}{RA} \tag{2}$$

dengan σ adalah konduktivitas listrik suatu bahan $(\Omega m)^{-1}$, ρ adalah resistivitas suatu bahan (Ωm), R adalah resistansi suatu bahan (Ω), L adalah panjang sampel (m) dan A adalah luas penampang sampel (m^2). Pengukuran karakterisasi ini menggunakan metode rangkaian sederhana dengan mediasi minyak sayur.

II. METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Laboratorium Formulasi Sediaan Tablet Fakultas Farmasi Universitas Andalas untuk proses kompaksi dan Laboratorium Radio Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas untuk karakterisasi *Fourier*

Transform Infra Red (FTIR *jasco 460 plus*). PT. PLTU Sektor Ombilin Sawahlunto untuk memperoleh *byottom ash*.

2.1 Pembuatan PANi

Polianilin atau yang biasa disingkat dengan PANi dapat disintesis melalui metode polimerisasi oksidasi secara kimia. Proses sintesis PANi dilakukan dengan cara mencampurkan 50 mL HCl dan 2 mL Monomer Anilin selama 1 jam. Kemudian 6 g Ammonium Peroksidisulfat $(NH)_4S_2O_8$ dimasukkan ke dalam 50 mL aquades selama 1 jam. Kedua larutan tersebut dicampurkan ke dalam satu wadah kimia, diaduk dan dibiarkan selama 2 jam sampai terjadi polimerisasi sempurna dengan terbentuk endapan berwarna hijau dan terlihat terpisah, larutan HCl-Anilin berada di atas dan larutan H_2O-$(NH)_4S_2O_8$ di bawah. Hasil yang berupa endapan tersebut kemudian dicuci dengan menggunakan HCl sebanyak 3 kali dan dicuci lagi menggunakan aseton sebanyak 3 kali sehingga terbentuk endapan PANi hidroklorid (*Emeraldine Salt*). Polianilin yang terbentuk tersebut dikeringkan dengan cara dipanaskan pada oven dengan suhu 80ºC selama 2 jam.

2.2 Proses Pendopingan

Proses pendopingan dilakukan setelah diperoleh PANi dalam bentuk serbuk yang sebelumnya dikeringkan pada oven. *Bottom ash* yang dijadikan sebagai *filler* pun sebelum dicampur dengan polianilin juga digerus dan diayak dengan menggunakan ayakan *mess* dengan ukuran 250 μm. Setelah proses pendopingan, serbuk PANi-B tersebut dikompaksi dengan menggunakan alat kompaksi manual di Laboratorium Formulasi Sedian Tablet Fakultas Farmasi UNAND sehingga hasil akhir yang diperoleh berupa tablet PANi-B yang selanjutnya akan dikarakterisasi.

2.3 Karakterisasi

2.3.1 Karakterisasi konduktivitas listrik

Karakterisasi sifat listrik yang digunakan untuk menentukan nilai konduktivitas listrik suatu bahan adalah melalui pengukuran resistansi salah satunya dengan variasi suhu terhadap bahan tersebut. Pada metode ini, variasi suhu yang diberikan memiliki rentang nilai antara 308 K sampai 373 K. Alat yang digunakan juga sangat sederhana, yaitu pemanas yang diisi dengan minyak sayur, termometer raksa, kemudian LCR Meter-814 untuk membaca nilai resistansi yang terukur. Sampel diukur resistansinya dengan cara mencelupkan kedalam pemanas yang berisi minyak sayur. Agar nilai resistansi terbaca akurat, maka pengukuran dilakukan pada penurunan suhu. Penggunaan minyak sayur bertujuan untuk dapat membuat temperatur sampel sesuai dengan temperatur yang diinginkan tanpa mempengaruhi sampel.

2.3.2 Karakterisasi gugus fungsi

Berdasarkan gugus fungsi yang diperoleh dari FTIR *jasco 460 plus*, dapat diketahui ikatan non logam (senyawa organik) yang terbentuk pada sampel PANi-*bottom ash*. Dengan mengetahui keadaan awal serta keadaan akhir dari sampel dapat dipelajari apakah terjadi ikatan baru akibat perlakuan yang diberikan. Sifat listrik PANi-*bottom ash* sangat dipengaruhi oleh struktur molekul penyusunnya.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Karakterisasi FTIR

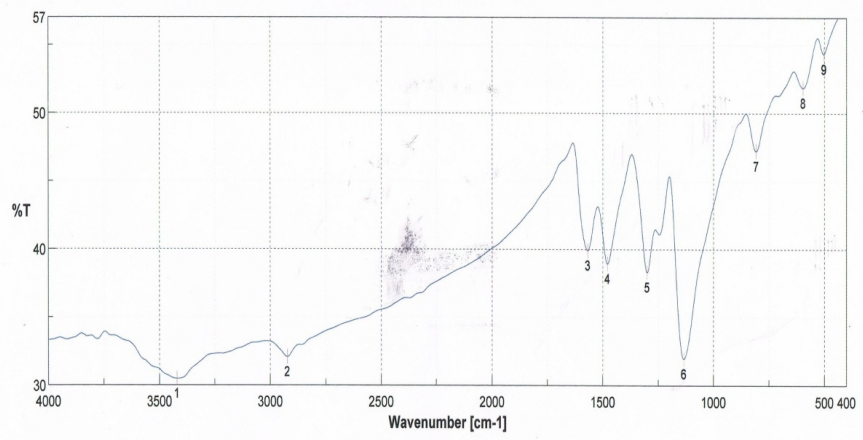
Karakterisasi FTIR bertujuan untuk melihat gugus fungsi dari molekul yang ada. Dari hasil yang didapat, terlihat bahwa kemunculan gugus fungsi baru tidak terjadi dalam proses pembuatan maupun pemanasan sampel selama pengukuran sifat listrik, ditunjukkan pada Tabel 2 yang memuat data panjang gelombang serta gugus fungsi dari minyak sayur, PANi, *bottom ash* serta PANi-*bottom ash*.

Pada Tabel 2, terlihat bahwa minyak sayur memiliki tiga gugus fungsi utama yakni gugus-gugus fungsi CH, OH, dan C=O pada berbagai bilangan gelombang. PANi-*bottom ash* yang dipanaskan hingga temperatur 373 K didalam minyak sayur tidak mengalami perubahan

gugus fungsi dasar yang telah ada. Penggunaan minyak sayur hanya sebatas media untuk memberikan energi panas. Minyak sayur memiliki resistansi sehingga tidak mempengaruhi resistansi sampel walaupun terjadi penyusupan minyak sayur pada pori yang dimiliki sampel. Gambar 1 dan Gambar 2 menyajikan hasil FTIR sebelum dan sesudah sampel diukur dalam media minyak sayur. Kemunculan gugus O-H untuk panjang gelombang 3473,17 cm^{-1} pada sampel PANi-*bottom ash* setelah dilakukan karakterisasi sifat listrik merupakan gugus yang sama dengan gugus fungsi yang dimiliki oleh minyak sayur. Gugus fungsi ini sebelumnya tidak terdapat pada sampel yang sama sebelum karakterisasi sifat listrik.

Tabel 2 Gugus Fungsi yang Terbentuk Sebelum dan Setelah Karakterisasi Sifat Listrik

No.	Bil Gel Referensi (cm-1)	Sebelum Karakterisasi Sifat Listrik								Setelah Karakterisasi Sifat Listrik		Nama Gugus Fungsi
		Bil-Gel PANi (cm-1)	Bil-Gel Bottom ash (cm-1)	Bil-Gel minyak (cm-1)	Bil-Gel PANi-B(1)	Gugus Fungsi PANi	Gugus Fungsi Bottom Ash	Gugus Fungsi Minyak	Gugus Fungsi PANi-B(1)	Bil-Gel PANi-B(1)	Gugus Fungsi PANi-B(1)	
1	-											
2	-											
3	3310-3500	3410,49	3432,67	3473,17	3422,06	N-H	N-H	N-H	N-H	3436,53	N-H	Amina
4	3000-3600					O-H	O-H	O-H	O-H		O-H	Asam Karboksilat
5	2000-3600					O-H	O-H	O-H	O-H		O-H	Alkohol,
			2357,55	2924,52	2924,52		O-H	O-H	O-H	2924,52	O-H	fenol (Ikatan Hidrogen)
				2858,95				O-H		2856,06	O-H	Alkohol,
				2679,6				O-H		2359,48	O-H	fenol (Ikatan Hidrogen)
				2314,16				O-H				
				2032,6				O-H				
6	1690-1760			1745,26				C=O		1746,23	C=O	Aldehida, Keton,
												Asam Karboksilat, ester
7	1500-1600	1568,81			1568,81	C=C			C=C	1569,77	C=C	Aromatik
8	-	1482,03			1479,13	-			-	1478,17	-	-
9	1350-1470		1429,96	1466,6			C-H	C-H				Alkana
				1458,89				C-H				
				1367,28				C-H				
10	1180-1360	1300,75		1233,25	1300,75	C-N		C-N	C-N	1299,79	C-N	Amina
11	1080-1300	1140,69			1134,9	C-O		C-O	C-O		C-O	Alkohol, eter,
				1162,87				C-O		1139,72	C-O	asam karboksilat, ester
12	675-870	808,992		721,247	808,992	C-H		C-H	C-H	808,028	C-H	Alkena, Aromatik
13	-	592,039	1078,98	474,403	596,861	-	-	-	-	594,932	-	-
14	-	507,187	556,363		503,33	-	-		-	505,258	-	-
15	-	419,442	-			-						-

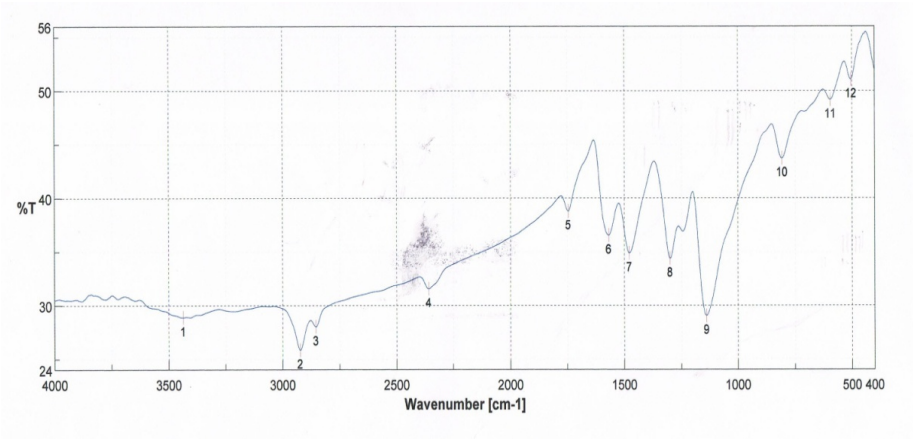


Gambar 1 Hasil FTIR Sampel PANi-B(1) Sebelum Karakterisasi Sifat Listrik

Selain gugus O-H, gugus fungsi lain seperti gugus karboksilat (C=O) juga muncul pada PANi-*bottom ash* setalah karakterisasi sifat listrik. Dari kedua Gambar 1 dan Gambar 2, puncak serapan 2 dan 3 terlihat kemunculan gugus karboksilat (C=O) pada sampel PANi-*bottom ash* setelah dikarakterisasi. Gugus karboksilat (C=O) ini juga berasal dari gugus fungsi minyak sayur. Berdasarkan hasil tersebut, minyak sayur sebagai media ukur tidak menghasilkan gugus fungsi baru sebagai bentuk reaksi pada sampel, namun hanya mengisi rongga yang masih ada.

Secara umum, adanya rongga menunjukan belum optimalnya pengisian *bottom ash* pada PANi. Hal ini dapat diakibatkan oleh ukuran partikel yang tidak seragam maupun ukuran partikel *bottom ash* yang lebih besar dibandingkan rongga yang ada. Tidak optimalnya

pengisian ini tentunya akan menurunkan konduktivitas sampel, karena adanya rongga akan meningkatkan resistansi dari material (Hasnaoui,2008).



Gambar 2 Hasil FTIR Sampel PANi-B(1) Setelah Karakterisasi Sifat Listrik

Jika ditinjau dari gugus fungsi C=C atau yang lebih dikenal dengan cincin aromatik, gugus fungsi C=C yang muncul pada PANi memiliki ikatan rangkap. Ikatan rangkap ini terkonjugasi dengan ikatan C-H, N-H, C-N pada PANi yang membuat PANi bersifat polar. Hal ini dikarenakan masing - masing ikatan yang terkonjugasi ini memiliki kemampuan elektronegativitas yang berbeda-beda. Keadaan inilah yang menyebabkan PANi menjadi polimer yang konduktif.

3.2 Analisis Konduktivitas Listrik PANi-*Bottom ash*

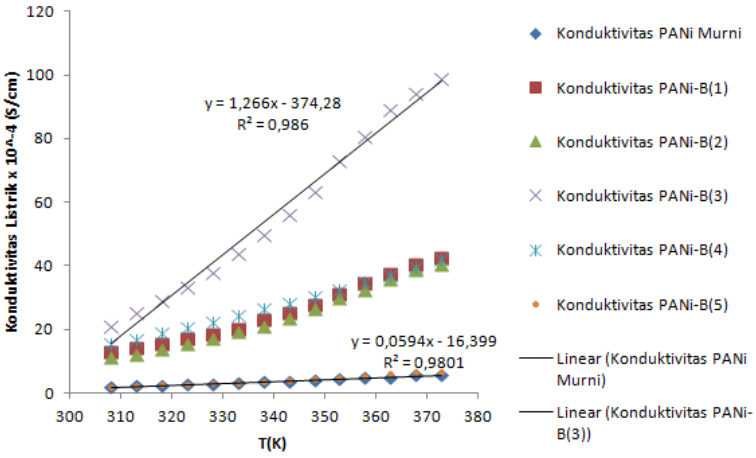
Bottom ash sebagai dopan yang mengisi PANi, selain memiliki senyawa organik O-H dan C-H seperti pada Tabel 2, juga memiliki konsentrasi unsur-unsur logam yang cenderung membentuk ion negatif (Tabel 1). Pengaruh penambahan *bottom ash* dapat mempengaruhi sifat listrik, khususnya konduktivitas PANi, dapat dilihat pada Tabel 3 yang menampilkan nilai konduktivitas PANi-*bottom ash* pada beberapa temperatur yang berbeda dan direpresentasikan dalam Gambar 3.

Tabel 3 Nilai konduktivitas Listrik pada Sampel PANi Murni dan PANi-*bottom ash* dengan Variasi Temperatur

No.	Suhu (K)	Konduktivitas (S/cm)x 10^{-4}					
		PANi Murni	PANi-B (1)	PANi-B(2)	PANi-B(3)	PANi-B(4)	PANi-B(5)
1.	373	6	42,66	40,55	98,89	42,31	6,79
2.	368	5,6	40,37	38,84	94,28	39,42	6,49
3.	363	5,1	37,56	35,83	88,94	37,2	6,11
4.	358	4,9	34,67	32,58	80,81	34,95	5,57
5.	353	4,6	31,09	29,76	72,89	32,5	5,08
6.	348	4,2	27,71	26,45	63,13	30,43	4,6
7.	343	3,7	25,37	23,58	55,89	28,15	4,07
8.	338	3,5	22,92	21,03	49,79	26,33	3,71
9.	333	3,2	20,33	19,12	43,65	24,3	3,4
10.	328	2,9	18,6	17,3	38,12	22,24	3,13
11.	323	2,7	17,23	15,67	33,35	20,65	2,84
12.	318	2,5	15,56	14,02	29,22	18,9	2,65
13.	313	2,4	14,12	12,2	25,07	16,98	2,44
14.	308	2,2	12,89	11,39	21,14	15,32	2,12

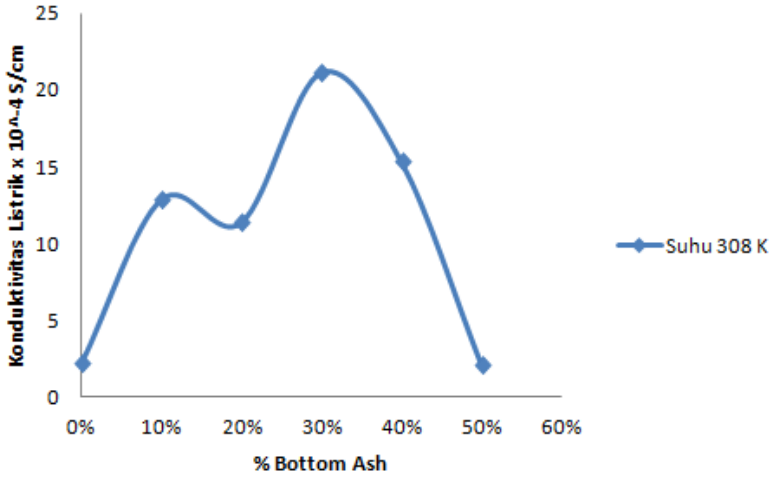
Dari Gambar 3 terlihat bahwa pendopingan PANi dengan *bottom ash* berhasil mempengaruhi konduktivitas PANi-*bottom ash*. PANi-B(3) dengan variasi komposisi 70%:30% memiliki respon konduktivitas terbesar, yang ditunjukkan oleh kemiringan garis mencapai 1,266 dengan nilai konduktivitas maksimum pada temperatur 373 K adalah 98,89 x 10^{-4} S/cm. Dapat diartikan bahwa PANi yang didoping *bottom ash* menjadi lebih konduktif dan responsif terhadap perubahan temperatur dibandingkan dengan PANi murni seperti yang ditampilkan

pada Gambar 4, yang menampilkan pengaruh persentase penambahan *bottom ash* terhadap perubahan konduktivitas pada temperatur 308 K.



Gambar 3. Hubungan Suhu Terhadap Konduktivitas Listrik PANi Murni dan PANi-B.

Penambahan *bottom ash* meningkatkankan konduktivitas dan responsif terhadap temperatur. Hal ini terlihat bahwa terjadinya kenaikkan nilai konduktivitas seiring dengan penambahan *bottom ash*, hingga mencapai nilai maksimum pada perbandingan 70% : 30% yaitu PANi-B (3) dengan nilai konduktivitas sebesar 21,14 x 10^{-4} S/cm. Namun ternyata konduktivitas tertinggi tidak terjadi pada sampel yang memiliki *bottom ash* terbanyak. Ketika penambahan *bottom ash* tetap dilanjutkan, ternyata nilai konduktivitas justru menurun dengan tajam. Hal ini menunjukkan telah tercapainya batas maksimum pengisian kekosongan rongga yang terdapat pada PANi oleh *bottom ash*. Begitu juga hal nya yang terjadi pada sampel dengan perbandingan 80% : 20% yakni PANi-B(2), nilai konduktivitas menurun sebelum pada akhirnya meningkat hingga mencapai batas maksimum. Hal ini diperkirakan karena pada perbandingan komposisi tersebut, terjadi kesesuaian antara terlepasnya pembawa muatan dari *bottom ash* dengan kemampuan serap yang dimiliki PANi sehingga menyebabkan konduktivitas menurun.



Gambar 4. Hubungan Konduktivitas Listrik Terhadap Persentase Penambahan *Bottom Ash* Pada Suhu 308 K.

Penggunaan polimer sebagai elektroda menghendaki ketahanan terhadap perubahan temperatur. Ketahanan ini dapat dilihat dari respon konduktivitas terhapat perubahan temperatur, dan perubahan wujud material akibat perubahan temperatur. Secara fisik, komposit ini tidak mengalami perubahan wujud ketika dipanaskan hingga suhu 373 K, ini menunjukkan

bahwa material komposit PANi-*bottom ash* lebih stabil terhadap perubahan temperatur. ini berkaitan dengan kinerja kapasitor sebagai penyimpan energi.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan minyak sayur sebagai media pengukuran tidak menghasilkan gugus fungsi baru sebagai bentuk reaksi pada sampel. Pendopingan PANi dengan *bottom ash* mempengaruhi konduktivitas listrik material komposit PANi-*bottom ash*. Nilai konduktivitas maksimum dari proses pendopingan tersebut 98,89 x 10^{-4} S/cm pada temperatur 373 K, dihasilkan oleh PANi-*bottom ash* dengan variasi komposisi 70% : 30%. Komposit PANi-*bottom ash* tidak mengalami perubahan wujud ketika dipanaskan hingga suhu 373 K, ini menunjukkan bahwa material komposit PANi-*bottom ash* lebih stabil terhadap perubahan temperatur. Nilai konduktivitas listrik yang diperoleh pada penelitian ini telah memenuhi nilai konduktivitas listrik sebagai aplikasi elektroda superkapasitor.

DAFTAR PUSTAKA

Arbizzani, C., Biso. M., Cericola, D., Lazzari, M., 2008, Safe high- energy supercapasitor based on solvent-free ionic liquid electrolytes, *Journal of power sources*, Vol.185, Elsevier, hal 1575-1579.

Braunstein, H.M., Copenhaver, E.D. dan Pfuderer, H.A., 1977, Characterisation of fly ash and bottom ash from a coal-fired, *International journal of mining reclamation and environment*, Vol.10, No.4, Taylor and francis, hal 181-185.

Chen, W.C., Wen T.C., dan Teng, H., 2003, Electrochemical and Capasitive Properties of Polyaniline- Implanted Porous Carbon Electrode For Supercapasitors, *Journal of power sources*, Vol.1, No.17, Elsevier, hal 273-282.

Hasnaoui, M.El., Graca, M.P.F. dan Achour, M.E., 2011, Electrical Properties of Carbon Black/ Copolymer Composites Above and Below The Melting Temperature, *Journal Material Environment Science*, Vol.2, No.1, JMES, hal 1-6.

Kertati, S.,2008, Sintesis dan Karakterisasi Polianilin dari Anilium Asetat dan Anilinium Propionat Serta Aplikasi Sebagai Sensor Uap Amoniak, *Skripsi*, Universitas Indonesia, Depok.

Kroscwitz, J., 1990, *Polymer Characterization and Analysis*, John Wiley and Sons Inc., New York.

Maddu, A., 2008, Sintesis dan Nanoserat Polianilin, *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, Vol.1, No.2, Jurusan Fisika Institut Pertanian Bogor, hal 74-78.

Mihardi, I., 2008, Karakteristik Optik dan Listrik Polianilin yang di-Doped HCl, *Skripsi*, Departemen Fisika Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Prastiwi, H., 2012, Analisis Pengaruh Penambahan Serbuk Tembaga Terhadap Sifat Listrik dan Sifat Optis Polianilin (PANi), *Skripsi*, Universitas Andalas, Padang.

Shirakawa, H., 2001, The discovery of polyacetylene film-the dawning of an era of conducting polymers, *Reviews of Modern Physics*, Vol.73, No. 3, The American Physical Society, hal 713-718.

Smallman, R.E., dan Bishop, R.J.,2000, *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material* Edisi Keenam, Erlangga, Jakarta.