

Komposit polianilin/logam oksida: sintesis, karakterisasi dan aplikasi: sebuah telaah pustaka

Diana Andari, Morina Adfa dan Salprima Yudha S*

Didaftarkan: [15 April 2022] Direvisi: [25 April 2022] Terbit: [30 April 2022]

ABSTRAK: Polianilin (PANi) merupakan polimer yang memiliki sifat stabil dalam lingkungan, konduktivitas listrik yang baik, dan harga yang relatif murah. Sintesis komposit PANi/logam oksida dilakukan dengan berbagai metode yang meliputi polimerisasi in situ, *mechanical milling*, elektrodeposisi, pengadukan, ultrasonikasi. Produk sintesis PANi/logam oksida diantaranya seperti PANi/TiO₂, PANi/SiO₂, PANi/ZnO, dan PANi/Fe₃O₄. Komposit PANi/logam oksida memiliki berbagai aplikasi yaitu sebagai adsorben, fotodegradasi, dan antikorosi.

PENDAHULUAN

Penelitian mengenai komposit polianilin (PANi) dengan logam oksida sedang giat dilakukan. Hal ini dikarenakan polianilin adalah salah satu bahan polimer konduktif yang memiliki sifat fisika dan kimia yang khas yaitu stabil dalam lingkungan, memiliki konduktivitas listrik yang baik dan harga yang relatif murah[1]. Sementara itu logam oksida dalam bentuk nanopartikel juga memberikan sifat optik tertentu yaitu penyerapan sinar UV, penyerapan warna yang spesifik pada daerah tampak, dikroisme dan fotoluminesensi. Dengan sifat-sifat tersebut komposit polimer/logam oksida akan menghasilkan suatu material yang memiliki berbagai manfaat, seperti aplikasi sebagai adsorben gelombang mikro, fotodegradasi zat warna dan juga pelapis anti korosi. Berbagai metode telah dikembangkan untuk sintesis PANi/logam oksida dengan kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Tujuan dari artikel ini adalah untuk melakukan kajian terhadap hasil-hasil penelitian terkait dengan komposit PANi/logam oksida yang telah dilaporkan dalam jurnal-jurnal berbahasa Indonesia dan/atau melayu. Hasil telaah ini diharapkan dapat memberikan gambaran perkembangan penelitian pada salah satu jenis komposit ini dan dapat menjadi rujukan ilmiah bagi pengembangan material sejenis di masa yang akan datang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perkembangan metode untuk sintesis komposit PANi/logam oksida sedang giat dilakukan karena keluasan bidang aplikasi dari komposit ini, beberapa diantaranya yaitu metode polimerisasi in situ, pencampuran mekanik, pengadukan (*stirrer*), ultrasonikasi, dan *electrodeposition*. Berikut ini akan dibahas mengenai metode untuk sintesis komposit dan hasil karakterisasinya, serta pengaplikasian dari produk komposit PANi/logam oksida.

Sintesis dan Karakterisasi Komposit Polianilin/Logam Oksida

a. Polimerisasi In Situ

Sintesis komposit PANi/logam oksida secara polimerisasi in situ dapat dilakukan dengan menggunakan monomer anilin (C₆H₅NH₂) dan oksidator dengan tambahan partikel logam oksida dan asam klorida (HCl) sebagai agen pendoping. Oksidator yang dapat digunakan

diantaranya yaitu amonium persulfat ((NH₄)₂S₂O₈), hidrogen peroksida (H₂O₂), kalium dikromat (K₂Cr₂O₇), dan lainnya.

Komposit PANi/SiO₂

Sintesis komposit PANi/SiO₂ menggunakan gel SiO₂ yang dipreparasi dari limbah kaca bening menggunakan metode sol-gel, dan sintesis komposit melalui metode polimerisasi pada suhu rendah yaitu 3-5°C yang berlangsung selama 36 jam. Pada spektrum FTIR PANi/SiO₂ terjadi pergeseran dan muncul pita serapan baru pada 2074,57 cm⁻¹, 1880,16 cm⁻¹, 1557,96 cm⁻¹, 1307,04 cm⁻¹, 1054,89 cm⁻¹ dan 795,28 cm⁻¹. Munculnya pita serapan baru ini diasumsikan sebagai akibat dari pengaruh ikatan van der Waals dan ikatan hidrogen antara PANi dan SiO₂. Difraktogram XRD PANi/SiO₂ menunjukkan puncak yang melebar pada 2θ = 22,36° dengan nilai *d spacing* sebesar 3,97 Å mengindikasikan bahwa komposit PANi/SiO₂ lebih kristalin daripada SiO₂ meskipun keduanya bersifat amorf [2].

Komposit PANi/Fe₃O₄

Komposit PANi difabrikasi dengan menggunakan *filler* Fe₃O₄ yang dipreparasi dari pasir dengan metode kopresipitasi. Komposit PANi/Fe₃O₄ yang dihasilkan terbentuk dengan baik, hal ini diindikasikan dengan hasil morfologi SEM yang menunjukkan bahwa sebaran komposit terdistribusi merata walaupun ada bagian yang teraglomerasi. Selain itu, nilai konduktivitas yang dihasilkan juga cenderung meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi Fe₃O₄ yang ditambahkan. Namun pada batas tertentu, peningkatan konsentrasi Fe₃O₄ akan menyebabkan terjadinya aglomerasi pada komposit sehingga menurunkan nilai konduktivitas [3,4].

Komposit PANi/ZnO

Komposit PANi/ZnO disintesis dengan variasi komposisi massa ZnO yaitu 10%, 20% dan 30%. Pada hasil karakterisasi FTIR dan XRD menunjukkan bahwa semua sampel menunjukkan pita serapan dan pola difraksi khas PANi dan ZnO. Selain itu, mikrograf SEM menunjukkan bahwa sampel PANi/ZnO 30% memiliki diameter pori 378 nm dengan struktur *ovoidal-shaped*. Pada hasil nilai konduktivitas listrik terjadi penurunan nilai seiring dengan penambahan komposisi ZnO, namun pemanfaatan komposit PANi dengan pengisi 30% ZnO menghasilkan nilai sensitivitas yang relatif tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan sensor untuk mendeteksi gas metanol [5].

Adapun kelebihan dari metode polimerisasi in situ yaitu proses polimerisasi dan fabrikasi komposit terjadi secara bersamaan, antarmuka yang baik antara *filler* dan polimer, proses sintesis yang mudah dilakukan dan didukung dengan kemudahan dalam ketersediaan alat dan bahannya serta biaya sintesis yang relatif murah dan juga produk yang terbentuk berupa serbuk dalam jumlah relatif banyak. Namun, metode polimerisasi in situ secara kimia menghasilkan produk komposit yang memiliki nilai konduktivitas relatif rendah jika perbandingan komposisinya tidak tepat.

b. Mechanical Mixing

Salah satu metode sintesis komposit lainnya adalah *mechanical mixing*. Matriks PANi dengan bahan pengisi SiO₂ yang disintesis dari pasir Bancar dikompositkan menggunakan metode *mechanical mixing* dengan medium n-butanol. Hasil karakterisasi dari komposit PANi/SiO₂ secara umum mirip dengan PANi. Hal ini membuktikan bahwa adanya penambahan nanosilika sebagai *filler* tidak mengubah struktur dari matriks PANi [6].

Beberapa komposit lainnya disintesis menggunakan metode serupa adalah komposit PANi/TiO₂ [7] dan PANi-Fe₃O₄ [8]. Sintesis nanokomposit PANi/SiO₂ dilakukan menggunakan metode *wet mixing*. Pada metode ini memanfaatkan larutan 1-butanol sebagai pelarutnya dengan variasi persentase berat *filler* yaitu 10%, 20%, dan 30%. Serbuk nanosilika dicampurkan dengan larutan 1-butanol lalu diaduk, ditambahkan dengan PANi lalu diaduk kembali hingga nanokomposit PANi/SiO₂ terbentuk yang kemudian dipanaskan pada suhu 60°C dalam kurun waktu 24 jam. Kehadiran PANi dan SiO₂ dibuktikan pada spektrum FTIR PANi/SiO₂. Pada hasil difraktogram komposit terjadi kenaikan intensitas pada $2\theta = 16^\circ$ dan 20° dengan homogenitas yang baik. Unsur-unsur yang terkonfirmasi berdasarkan hasil EDX yaitu karbon (46,2%), oksigen (29,76%), dan silikon (16,96%) [9]. Komposit PANi/TiO₂ nanoserat pinang dilakukan dengan memvariasikan perbandingan persentase antara TiO₂ dan nanoserat pinang menggunakan metode *dry mixing*. Difraktogram XRD menunjukkan bahwa terdapat puncak khas yang mengindikasikan keberadaan nanoserat pinang dan TiO₂. Morfologi SEM menunjukkan bahwa ukuran partikel pada permukaan film PANi/TiO₂ nanoserat pinang bervariasi. Dari hasil penelitian yang telah dilaporkan menunjukkan bahwa seiring penambahan jumlah nanoserat pinang, nilai konduktivitas yang dihasilkan semakin tinggi [10].

Kelebihan dari metode ini adalah prosesnya yang sederhana dan mudah untuk dilakukan, akan tetapi dengan adanya penggunaan pelarut yang ditambahkan dikhawatirkan akan mempengaruhi kinerja mekanik dari produk komposit yang terbentuk, selain itu penguapan pelarut yang dapat terjadi mengakibatkan peningkatan untuk produksi massal sulit dilakukan.

c. Pengadukan

Sintesis komposit PANi/SiO₂ dengan menggunakan metode pengadukan ini memodifikasi metode polimerisasi *in situ*. Pada saat proses polimerisasi berlangsung juga dilakukan pengadukan selama 8 jam pada temperatur 0°C menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah proses pengadukan selesai, larutan komposit kemudian dicuci dengan akuades hingga filtratnya menjadi bening dan dilanjutkan dengan pencucian endapan menggunakan aseton, lalu dilakukan proses penyaringan endapan kembali. Pola serapan komposit menunjukkan adanya gugus fungsi siloksan (Si-O-Si) berada di rentang bilangan gelombang 1000 cm⁻¹ hingga 1130 cm⁻¹. Karakterisasi XRD memperlihatkan puncak difraksi pada $2\theta = 18^\circ$, 20° dan 25° . Hasil SEM-EDX menegaskan bahwa struktur dari komposit sudah homogen [1].

d. Ultrasonikasi

Fabrikasi komposit PANi dengan SiO₂ sebagai *filler* secara ultrasonikasi dilakukan dengan cara memasukkan larutan komposit yang telah terbentuk ke dalam alat *ultrasonic cleaner* untuk memulai proses ultrasonikasi dan dilakukan selama 8 jam. Spektrum FTIR menunjukkan adanya pergeseran pada pita serapan gugus fungsi regangan kuinoid C=C. Hal ini merupakan salah satu efek dari kelemahan metode ultrasonikasi. Proses ultrasonikasi dilakukan pada lingkungan yang cenderung mengalami peningkatan temperatur seiring dengan lamanya waktu ultrasonikasi dilakukan. Peningkatan suhu yang terjadi pada air mengakibatkan doping *dodecyl benzene sulphonic acid* (DBSA) yang terdapat di larutan komposit PANi/SiO₂ hilang dan berdampak pada penurunan konduktivitas produk komposit. Difraktogram PANi/SiO₂ menghasilkan puncak difraksi di

$2\theta = 18,5^\circ, 19,8^\circ$ dan 25° . Karakterisasi dengan SEM-EDX menjelaskan bahwa komposit memiliki struktur yang homogen [1].

e. Elektrodeposisi

Elektrodeposisi merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk sintesis komposit. Elektrodeposisi ialah peristiwa penguraian zat elektrolit yang diakibatkan adanya arus searah. Berdasarkan penelitian terdahulu, *filler* TiO_2 disiapkan dengan metode sol-gel, sementara itu PANi disintesis secara polimerisasi elektrokimia yang dilakukan bersamaan dengan proses elektrodeposisi. Proses elektrodeposisi dimulai dengan preparasi sampel yang meliputi pemotongan dan pencucian plat yang kemudian direndam dengan HCl untuk selanjutnya dikeringkan dan dihaluskan menggunakan gerinda. Proses dilanjutkan dengan pelapisan plat baja dengan metode elektrodeposisi. Adapun larutan elektrolit yang digunakan adalah larutan asam sulfat (H_2SO_4) dan lithium klorida (LiCl). Sementara itu, PANi disintesis secara elektrokimia yang kemudian menghasilkan produk berupa film yang melapisi plat baja [11]. Kelebihan dari metode elektrodeposisi yaitu prosesnya yang cepat dan mudah dilakukan, tidak memerlukan banyak reagen, tidak memerlukan temperatur tinggi, proses pelapisan tidak membutuhkan tegangan tinggi dan dapat meningkatkan ketahanan korosi. Akan tetapi, terdapat risiko tinggi terjadinya penggetasan hidrogen dan larutan pelapisan yang bersifat toksik.

Aplikasi Komposit PANi/Logam Oksida

a. Komposit PANi/logam oksida sebagai adsorben

Nanokomposit PANi/ Fe_3O_4 disintesis dengan cara menyisipkan nanopartikel Fe_3O_4 yang berperan sebagai *filler* dengan pencampuran secara mekanik ke dalam matriks PANi dengan variasi komposisi Fe_3O_4 0,1 g, 0,2 g, 0,3 g, 0,4 g, 0,5 g yang kemudian diaplikasikan sebagai adsorben gelombang mikro. Hasil penelitian melaporkan bahwa komposit PANi/ Fe_3O_4 0,2 g adalah material paling optimum untuk menyerap gelombang mikro dengan nilai koefisien adsorpsi sebesar 98,9% [8].

b. Komposit PANi/logam oksida sebagai agen fotodegradasi

Komposit PANi/ ZnO menunjukkan aktivitas fotokatalitik untuk menurunkan konsentrasi rhodamin B. Penggunaan cahaya lampu tungsten dengan penambahan PANi, PANi/ ZnO 5% dan PANi/ ZnO 10% berhasil menurunkan konsentrasi rhodamin B berturut-turut sebesar 67,9%, 85,09%, dan 80,24% [12].

c. Komposit PANi/logam oksida sebagai antikorosi

Komposit PANi/ SiO_2 dilapiskan pada baja SS304 untuk melihat potensinya sebagai antikorosi dengan metode polarisasi untuk menentukan laju korosi dan metode pencelupan untuk mengidentifikasi produk korosi. Hasilnya menunjukkan bahwa komposit PANi/ SiO_2 berhasil menekan laju korosi baja SS304 hingga 500-2000 kali lebih kecil, dengan laju korosi PANi/ SiO_2 dengan komposisi 0,25 g, 0,50 g, dan 0,75 g berturut-turut adalah $1,31 \times 10^{-5}$ mpy, $1,04 \times 10^{-5}$ mpy, dan $4,85 \times 10^{-4}$ mpy [13]. Proses pelapisan cat dengan PANi dan komposit PANi/ SiO_2 pada permukaan baja SS304 dilakukan menggunakan metode *spray coating*. Hasil menunjukkan bahwa nilai laju korosi cat-PANi sebelum dan sesudah *expose* adalah 0,0108 mpy dan 0,00096 mpy sedangkan pada komposit cat-PANi/ SiO_2 adalah 0,0089 mpy dan 0,0002 mpy. Hasil ini menegaskan bahwa komposit cat-PANi/ SiO_2 lebih baik daripada cat-PANi dalam aplikasinya sebagai antikorosi [6].

Hasil pengujian menggunakan EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*) menunjukkan bahwa komposit dengan komposisi 90% PANi-10% SiO₂ memiliki nilai ketahanan korosi sebelum *expose* 3760 Ω dan setelah *expose* 7370 Ω [14]. Hasil karakterisasi dengan polarisasi linier pada komposit cat-PANi/SiO₂-10% memiliki nilai laju korosi saat sebelum dan sesudah *expose* berturut-turut sebesar 0,00896 mm per-tahun dan 0,00024408 mm per-tahun, lebih baik daripada komposit cat-PANi, cat-PANi/SiO₂-2,5% dan cat-PANi/SiO₂-15% [15]. Nanokomposit PANi/SiO₂ dianalisis menggunakan potensiostat menunjukkan bahwa dengan komposisi SiO₂ 30% memiliki penurunan laju korosi baja dengan nilai paling baik yaitu 0,0005196 mm pertahun [9].

Komposit PANi/TiO₂ dengan komposisi TiO₂ 15% yang diaplikasikan pada baja karbon ASTM A36 memiliki kemampuan antikorosi terbaik yaitu 0,0015406 mm pertahun daripada komposit dengan komposisi TiO₂ 10% dan 20% [7]. Penelitian lain menyebutkan bahwa plat yang dilapisi oleh inhibitor komposit PANi berbahan pengisi TiO₂ dengan komposisi 10⁻³ M PANi dan 10⁻² M TiO₂ memiliki laju korosi 0,003666 mpy dengan efisiensi inhibisi yang mencapai 100% [11].

KESIMPULAN

Komposit PANi/logam oksida merupakan material yang memiliki sifat fisika, kimia dan optik yang khas sehingga dapat memberikan aplikasi pada berbagai bidang. Sintesis komposit PANi-logam oksida dapat dilakukan dengan berbagai macam metode yang telah dikembangkan seperti metode polimerisasi *in situ*, *mechanical mixing*, pengadukan, ultrasonikasi, dan elektrodeposisi dengan kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Produk komposit yang terbentuk dengan metode tersebut dapat digunakan sebagai adsorben, agen fotodegradasi zat warna dan pelapis anti korosi.

PROSEDUR PENELITIAN

Review ini dilakukan dengan mengumpulkan berbagai pustaka terkait dengan topik sintesis, karakterisasi dan kemungkinan adanya aplikasi yang terkait dengan komposit polianilin-logam oksida khususnya dari jurnal-jurnal berbahasa Indonesia. Pustaka-pustaka tersebut dipelajari dan dilakukan telaah, sehingga didapatkan gambaran kekuatan, kekurangan, dan prospek pengembangan penelitian yang mungkin masih terus bisa ditumbuhkembangkan oleh peneliti-peneliti di Indonesia.

DEKLARASI

Para Penulis tidak memiliki konflik dalam hal penulisan dan pendanaan.

PERSANTUNAN

DA berterima kasih kepada Program Studi Magister (S2) Kimia FMIPA Universitas Bengkulu yang telah memberikan kesempatan untuk menempuh pendidikan magister, dan seluruh penulis berterima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia yang telah memberikan pendanaan dalam kegiatan Penelitian Tesis Magister. Publikasi ini merupakan luaran tambahan yang diperoleh selama tahun penelitian utama dilakukan.

INFORMASI TENTANG PENULIS

Penulis Rujukan:

Salprima Yudha S
Laboratorium Kimia Anorganik Fisik
Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA)
Universitas Bengkulu

Pusat Riset Produk Bahan Alam dan Material Fungsional
Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM)
Universitas Bengkulu

Para Penulis

Diana Andari
Program Studi Magister (S2) Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA)
Universitas Bengkulu; jalan W.R. Supratman, Kandang Limun, Kota Bengkulu

Morina Adfa
Laboratorium Kimia Organik
Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA)
Universitas Bengkulu

Pusat Riset Produk Bahan Alam dan Material Fungsional
Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM)
Universitas Bengkulu

PUSTAKA

- [1] Dyana, R.G.L.; Triwikantoro. Sintesis dan Karakterisasi PANI-SiO₂ dengan Pengisi Gel SiO₂ dari Pasir Bancar Tuban. *Sains dan Seni ITS* **2017**, *6(1)*, 2337–3520. DOI: 10.12962/j23373520.v6i1.22700
- [2] Putrinesia, M.I.; Nurlina; Rahmalia, W. Sintesis Dan Karakterisasi Komposit Polianilin/Silika Gel. *Jurnal Kimia Khatulistiwa* **2017**, *6(2)*, 89–95.
- [3] Basith, A.; Sholichah, N.; Rahayu, V.; Ardimas, A.; Fadhli, U.M. Sintesis Komposit Nano Pani/Fe₃O₄ Konduktif Berbasis Pasir Alam. *Indonesian Physical Review* **2021**, *4(2)*, 58–66. DOI: 10.29303/ipr.v4i2.94
- [4] Sahanaya, V.; Ramli; Darvina, Y. Pengaruh Fraksi Konsentrasi Nanokomposit Fe₃O₄/PANi dengan Metode Sol-Gel *Spin Coating* untuk Material Elektroda Baterai Lithium. *Pillar of Physics* **2018**, *11(2)*, 49–56. DOI: 10.24036/4644171074
- [5] Prasya, I.S.A.; Putri, N.P. Sintesis dan Karakterisasi Komposit PANi/ZnO sebagai Sensor Gas Metanol. *Jurnal Fisika Unand* **2021**, *10(3)*, 317–323. DOI: 10.25077/jfu.10.3.317-323.2021
- [6] Munasir; Umah, H.; Syahra, D.M.T. Uji Potensiodinamik Material Pelapis Anti-Korosi: Acrylic Paint-PANi/SiO₂. *Journal of Physical Science and Engineering* **2016**, *1(1)*, 25–28.
- [7] Muzkantri, V.R.; Kusumawati, D.H. Pengaruh Variasi TiO₂ dalam Komposit PANi-TiO₂/Cat sebagai Pelapis Anti Korosi pada Baja Karbon ASTM A36. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia* **2015**, *4(3)*, 61–64. DOI: 10.26740/ifi.v4n3.p%25p
- [8] Nasution, E.L.Y.; Astuti. Sintesis Nanokomposit PANi/Fe₃O₄ sebagai Penyerap Magnetik pada Gelombang Mikro. *Jurnal Fisika Unand* **2012**, *1(1)*, 37–44. DOI: 10.25077/jfu.1.1.%25p.2012.
- [9] Zuhri, A.A.; Januar, A.H.P.; Munasir. Sintesis dan Karakterisasi Nanokomposit PANi/SiO₂ sebagai Pelapis Tahan Korosi. *Jurnal Inovasi Fisika* **2013**, *2(3)*, 1–6.
- [10] Arifah, N.; Mahyudin, A. Pengaruh Nanoserat Pinang dan TiO₂ terhadap Sifat Listrik dan Sifat Mekanik Komposit Polianilin. *Jurnal Fisika Unand* **2021**, *10(4)*, 493–498. DOI: 10.25077/jfu.10.4.493-498.2021
- [11] Sulistyaningsih, E.; Lestari, N. Pengaruh Komposisi Material Komposit PANi-TiO₂ yang disintesis secara Elektrodeposisi terhadap Laju Korosi pada Baja Karbon Rendah.

- Fullerene Journal Of Chemistry* **2018**, *3(2)*, 52–57.
- [12] Nugroho, M.W.; Riapanitra, A.; Iswanto, P. Sintesis Nanokomposit Polianilin/ZnO dengan Metode Polimerisasi Antarmuka dan Uji Aktivitas Fotodegradasinya terhadap Rhodamin B pada Cahaya Tampak. *Molekul* **2015**, *10(2)*, 121–128. DOI: 10.20884/1.jm.2015.10.2.6
- [13] Pratama, D.S.; Islami, L.A.; Mardiyana, D.; Lestari, D.M. Analisis Pengaruh Fraksi Berat Pengisi Komposit PANi/n-SiO₂ terhadap Sifat Elektrokimia dengan Metode Polarisasi Potensiodinamik. *Jurnal Perancangan, Manufaktur, Material, dan Energi* **2021**, *3(3)*, 129–137. DOI: 10.52005/permadi.v3i3.54
- [14] Syahra, D.M.T.; Munasir. Analisis Sifat Korosi Material Pelapis PANi-SiO₂/cat pada Medium NaCl 1M dengan Metode EIS. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia* **2015**, *4(3)*: 101–105. DOI: 10.26740/ifi.v4n3.p%25p
- [15] Ummah, H.; Munasir. Studi Sifat Anti-Korosi Material *Coating* Cat-PANi/SiO₂ dengan Metode Polarisasi Linier. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia* **2015**, *4(3)*, 133–137.