



PERFORMA NANOGENERATOR ZNO NANORODS DAN PLA PADA SUBSTRAT *STAINLESS STEEL*

Yani Anggraeni^{1,*}, Nandang Mufti¹, Ahmad Taufiq¹

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang
Jl. Semarang 5, Malang, Kode Pos 65145, Indonesia

*Email: yhanita.physics@gmail.com

Abstrak

ZnO *nanorods* dapat digunakan sebagai piezoelektrik nanogenerator untuk *energy harvesting*. Pada penelitian ini ZnO *nanorods* (ZnO NRs) disintesis menggunakan metode *hydrothermal* sederhana pada substrat *stainless steel* (SS) pada suhu 90°C selama 6 jam dengan konsentrasi ZnO(NO₃)₂·4H₂O 50 mM dan 35 mM *Hexamethylenetetramine* (HMT). *Stainless steel* yang lain dilapisi PLA dengan menggunakan metode *spin coating* dengan kecepatan 3000 rpm selama 20 detik. ZnO *nanorods* yang dihasilkan kemudian dianalisis dengan XRD dan SEM. Uji performa nanogenerator dilakukan dengan memberi gaya tekan sebesar 6 N/m² pada ZnO NRs/SS dan PLA/SS kemudian arus dan tegangan diukur menggunakan electrometer dan osiloskop. Dari hasil XRD diperoleh ZnO *nanorods* yang dihasilkan mempunyai struktur kristal *hexagonal wurtzite* dengan parameter kisi a=b=3,2413 dan c= 5,1924. Diameter dan panjang ZnO *nanorods* dari hasil SEM adalah sekitar 81,568 nm dan 386,606 nm. Hasil performa nanogenerator menunjukkan arus dan tegangan sebesar 85 nA dan 2,2 V.

Kata Kunci: ZnO *nanorods*, *PolyLactidAcid*(PLA), piezoelektrik nanogenerator, *stainless steel*

1. Pendahuluan

Berkembangnya teknologi membawa dunia semakin canggih dan membuat kita bergantung dalam perangkat elektronik. Sebagai ukuran dan pemakaian daya dari hari ke hari semakin menyusut, memanen energi dari lingkungan sekitar untuk daya perangkat elektronik adalah hal yang sangat menjanjikan. Mendorong para peneliti untuk mencari berbagai alternatif dalam pengolahan dan pemanfaatan sumber energi terbarukan. Banyak jenis sumber energi dari lingkungan seperti energi mekanik, energi panas, energi kimia, energi solar, dan energi nuklir [16]. Namun diantara energi lainnya, energi mekanik adalah salah satu energi yang tersedia hampir ada dimana-mana tanpa mengenal batas waktu. Energi tersebut berasal dari angin, gelombang air, getaran, gerakan tubuh, mobil berjalan, nafas, aliran darah, dan detak jantung [13].

Salah satu metode untuk memperoleh energi di sekitar sistem adalah dengan bahan piezoelektrik (Shao et al., 2016). Piezoelektrik merupakan suatu material yang dapat mengubah energi mekanik menjadi listrik [7]. Dimana piezoelektrik merupakan kategori material yang mempunyai sifat unik. Penerapan *stress* pada kristal piezoelektrik akan mengakibatkan listrik karena terjadi polarisasi muatan.



Piezoelektrik merupakan sifat alami bahan untuk menghasilkan potensial listrik ketika bahan ini mengalami tekanan mekanik.

Struktur nano satu dimensi (1D) untuk bahan piezoelektrik seperti ZnO, AlGaIn, GaN, PZT, PVDF, TiO₂, dan CDS banyak digunakan untuk memanen energi mekanik serta sifatnya yang ramah lingkungan [14, 12]. Diantara beberapa bahan, ZnO merupakan bahan semikonduktor tipe-n golongan II-VI yang memiliki aplikasi teknis seperti *photocatalysts*, *solar cells*, *thin film gas sensors*, *varistors*, *light emitting diodes*, *ultraviolet (UV) lasers*, *piezoelectric nanogenerator* [15]. ZnO memiliki lebar *band gap* sekitar 3,37 eV dan energi ikat *excitonic* sekitar 60 meV pada temperatur ruang dan struktur kristal *wurtzite* dengan parameter *lattice* $a = 3,248 \text{ \AA}$ dan $c = 5,205 \text{ \AA}$. ZnO merupakan bahan semikonduktor yang dianggap sebagai bahan piezoelektrik yang menjanjikan untuk dapat menghasilkan tegangan potensial melalui deformasi ZnO *nanorods* piezoelektrik oleh kekuatan eksternal [2]. Keuntungan ZnO *nanorods* sebagai *energy harvesting* karena kemampuannya dalam membangun medan potensial dalam dirinya sendiri [10].

2. Metode Penelitian

2.1 Persiapan ZnO seed layer

Substrat *stainless steel* (SS) digunakan untuk pembuatan ZnO nanogenerator. Pertama, substrat SS dibersihkan dengan acetone, etanol, dan *DI-Water* dengan menggunakan *ultrasonic cleaner* masing-masing selama 10 menit. ZnO *seed layer* dilapiskan dalam substrat *stainless steel* dengan menggunakan metode *spin coating*. Larutan ZnO dibuat dengan cara melarutkan serbuk Zn(CH₃COO)₂·2H₂O dalam larutan ethanol. Agar kedua larutan homogen, maka campuran tersebut diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* pada *hot plate* dengan suhu 70°C selama 45 menit. Kemudian, ditambahkan *Monoethanolamine* (MEA) sedikit demi sedikit pada larutan, diaduk pada suhu konstan 70°C selama 2 jam. Perbandingan rasio (Zn(CH₃COO)₂·2H₂O) : MEA sebesar 1:1. Setelah itu, larutan tersebut didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam agar larutan yang terbentuk homogen dan transparan.

2.2 Penumbuhan ZnO nanorods

Pertumbuhan ZnO *nanorods* menggunakan *Zinc Nitrate Tetrahydrate* 50 mM dan *Hexamethylenetetramine* / C₆H₁₂N₄ 35 mM, dilarutkan dengan *deionized water* sebanyak 50 ml. Dari konsentrasi tersebut diperoleh perbandingan rasio 1,4:1. Larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 45 menit dan dipanaskan suhu 90°C selama 6 jam. Kemudian sampel dibilas dengan *DI-Water* untuk menghilangkan sisa garam dari permukaan dan dikeringkan. Terakhir, ZnO NRs/SS di *annealing* suhu 550°C selama 2 jam. ZnO nanorods tumbuh pada satu sisi substrat *stainless steel*, yang bertindak sebagai lapisan aktif untuk nanogenerator. Pada substrat lainnya, dilapiskan larutan PLA menggunakan metode *spin coating* dengan kecepatan 3000 rpm selama 20 detik. Dalam pembuatan larutan PLA 11 % dibutuhkan PLA sebanyak 0,55 gram dilarutkan dalam kloroform 3,55 ml, kemudian

di *stirrer* 1,5 jam dengan kecepatan 300 rpm sampai homogen, setelah itu ditingkan menjadi 600 rpm.

2.3 Pembentukan ZnO nanorods nanogenerator

Substrat dihubungkan kontak antara ZnO NRs dengan film *PolyLactid Acid* (PLA). Perangkat yang berhimpit ditekan menggunakan gaya mekanik sebesar 6N dan massa 3 kg, dibuat holder dari *acrylic* dengan ukuran 15 x 15 cm. Kontak listrik diambil dari sisi bawah film ZnO *nanorods* dan film PLA. *Stainless steel* digunakan sebagai elektroda karena meningkatkan konduktivitas serta tahan terhadap tekanan mekanik dan anti korosi.

2.4 Teknik karakterisasi

Mengidentifikasi sifat struktural dan kristalinitas ZnO *nanorods* dianalisis dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dioperasikan menggunakan 40 kV dan 30 mA dengan radiasi Cu-K α sudut 2θ dalam rentang 20° sampai 80°. Mengidentifikasi morfologi permukaan ZnO *nanorods* digunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan mengatur perbesarannya.

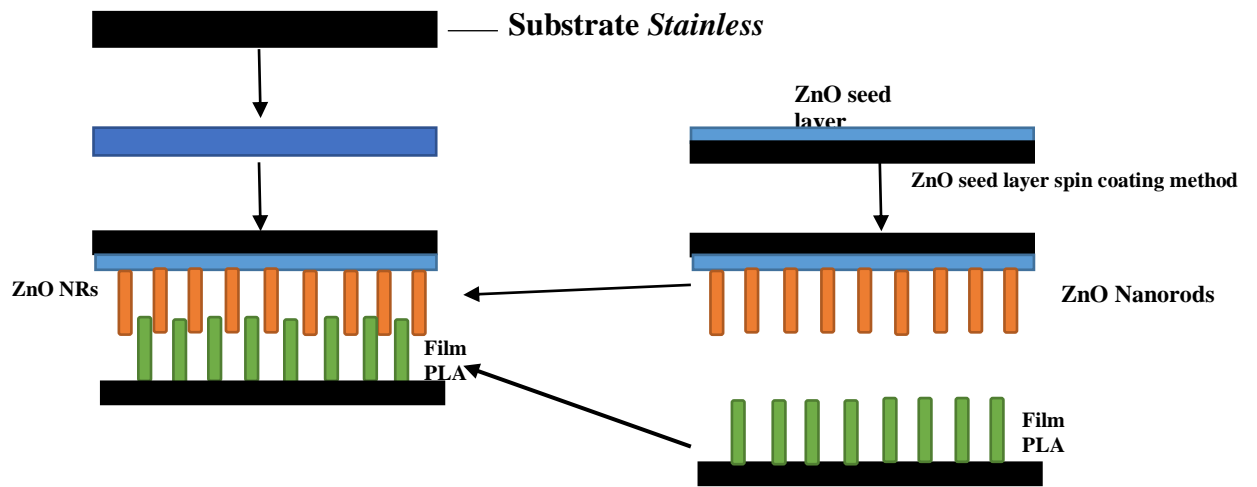
2.5 Pengukuran listrik

Karakterisasi listrik nanogenerator (NG) untuk pengukuran arus dan tegangan menggunakan elektrometer dan osiloskop. Uji performa nanogenerator dilakukan dengan memberi gaya tekan sebesar 6 N/m² pada ZnO NRs/SS dan film PLA. Kinerja perangkat nanogenerator buatan (*active area* 1 x 2 cm²) di uji pada perangkat atas dan bawah dengan jari/tangan untuk memanen energi dari tekanan mekanik. Arus dan tegangan diukur dari analisis parameter semikonduktor, tidak ada tegangan eksternal yang diterapkan selama pengukuran.

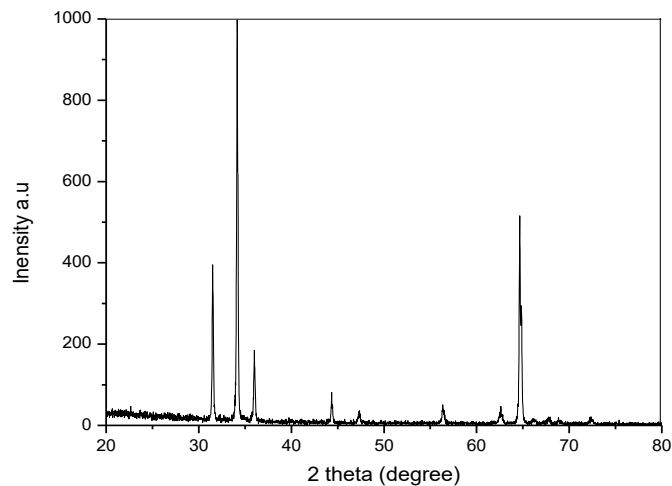
3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Struktural

Proses pertumbuhan ZnO *nanorods* dan pembentukan perangkat nanogenerator secara skematis ditunjukkan pada Gambar 1. Metode hidrotermal pada suhu rendah digunakan untuk menumbuhkan ZnO NRs secara vertikal dalam substrat *stainless steel* untuk pembentukan nanogenerator. Kristalinitas dan orientasi pertumbuhan ZnO NRs dalam substrat *stainless steel* dipelajari melalui *X-Ray Diffraction* (Gambar 2). Pola XRD pada puncak (100), (002), dan (101), menunjukkan pertumbuhan kristal ZnO tidak satu arah tapi masih ada yang terorientasi pada arah yang berbeda. Puncak tertinggi terletak pada bidang (002) pada sudut 34,14°-34,49°. Rata-rata ukuran butir yang dihasilkan antara 50,04 nm, dengan besar parameter kisi $a = 3,285 \text{ \AA}$ dan $c = 5,205 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$. Diamati bahwa, film yang diendapkan polikristalin dengan struktur *hexagonal wurtzite* dengan orientasi tertinggi pada sumbu-c dan tegak lurus terhadap permukaan substrat [13].



Gambar 1. Skematik diagram penumbuhan ZnO *nanorods* dan proses pembentukan perangkat nanogenerator

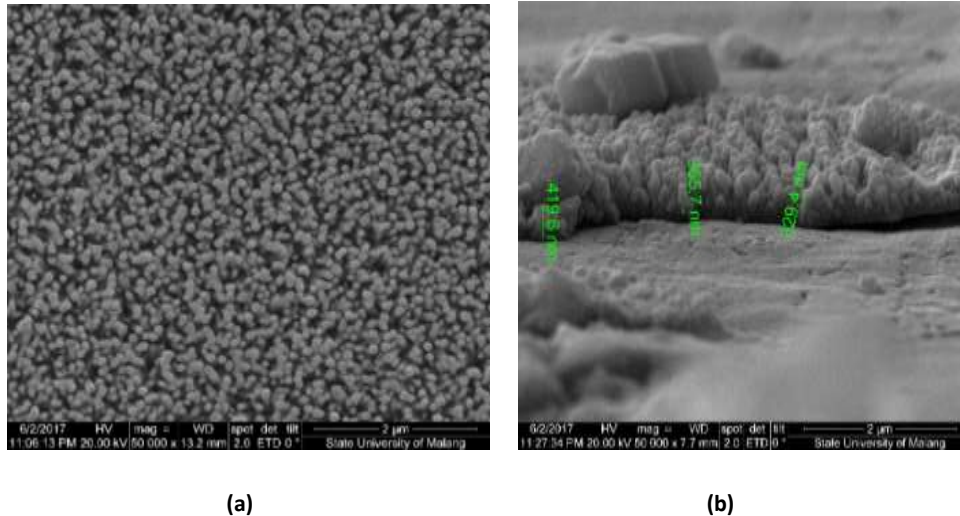


Gambar 2. Pola XRD ZnO NRs dengan perbandingan rasio 1,4:1

3.2 Analisis Morfologi

Permukaan morfologi pada pertumbuhan ZnO NRs dalam substrat *stainless steel* menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), ditunjukkan dalam Gambar 3. Gambar SEM menunjukkan orientasi tertinggi pada sumbu-c dan tegak lurus terhadap permukaan substrat. Hasil karakterisasi SEM ZnO NRs menunjukkan terbentuknya struktur yang mempunyai bentuk batang dengan struktur *hexagonal wurtzite* pada seluruh permukaan substrat, dimana setiap anion dikelilingi oleh empat kation di sudut tetrahedran. Pada perbandingan rasio 1,4:1, ketebalan rata-rata film diperoleh dari hasil SEM sisi *cross-section* (penampang melintang) sebesar 0,356 μm (Gambar 3b). Rata-rata diameter dan panjang pertumbuhan ZnO NRs masing-masing 81,568 nm dan 386,606 nm. Berdasarkan teori,

nanorods merupakan salah satu bentuk nanostruktur yang berbentuk batang dengan rentang diameter sekitar 1-100 nm yang disebut sebagai resim nano [11].



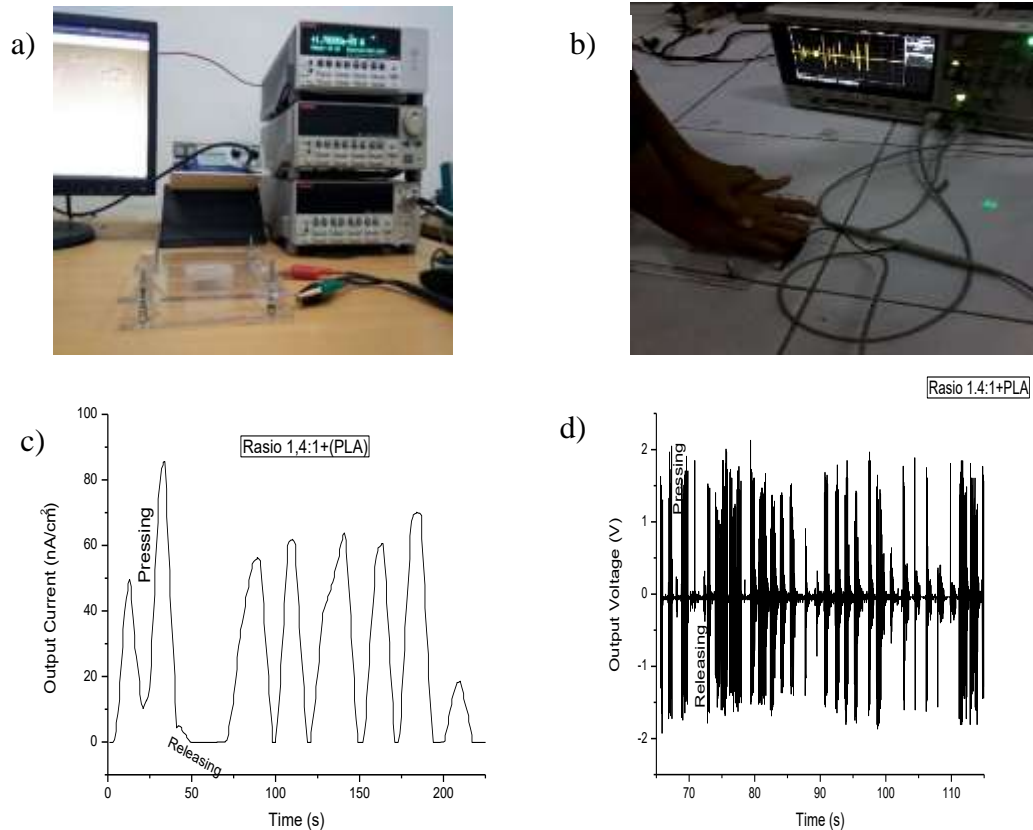
Gambar 3. Analisis Morfologi ZnO NRs dari hasil karakterisasi SEM ; a) Perbandingan rasio 1,4:1 dengan perbesaran 100kx dilihat dari sisi atas, b) Ketebalan film perbandingan rasio 1,4:1 dilihat dari *cross-section* (penampang melintang).

3.3 Hasil karakterisasi I-V pada perangkat piezoelektrik nanogenerator

Tubuh manusia mengandung sejumlah besar energi dalam bentuk energi panas, lemak, energi kinetik dari gerakan fisik. Perkembangan perangkat elektronik berdaya rendah memungkinkan manusia sebagai sistem *self-powered* untuk perangkat elektronik. Gerakan tubuh seperti *folding*, *pressing*, dan *stretching* secara efektif digunakan untuk menghasilkan arus dan tegangan pada nanogenerator. Performa nanogenerator dibuat (*active area* 1 x 2 cm²) pengukuran ini dilakukan dengan cara *pressing* dan *releasing* secara teratur. Kekuatan mekanik per area diukur dan hasilnya ditunjukkan melalui Gambar 4.

Gambar 4, menunjukkan hubungan arus terhadap waktu pada perangkat piezoelektrik nanogenerator film ZnO *nanorods* dan film PLA. Pengukuran arus digunakan elektromter, sedangkan untuk pengukuran tegangan digunakan osiloskop. Respon yang diperoleh dari nanogenerator karena kekuatan dinamis dari dampak jari/tangan yang diberikan dapat dilihat pada gambar 4. Arus maksimum diperoleh mencapai 85 nA dan tegangan maksimum mencapai 2,2 V. Asimetris potensial piezoelektrik dan kontak *schottky* antara elektroda, ZnO *nanorods* serta lapisan polimer merupakan faktor kunci untuk menciptakan, memisahkan, melestarikan, mengumpulkan, dan mengeluarkan muatan [13]. *Stainless steel* digunakan sebagai substrat tidak hanya meningkatkan konduktivitas sebagai elektroda tetapi tahan terhadap tekanan mekanik dan anti korosi. Dalam eksperimen ini, perangkat ini menjadi seperti baterai dengan muatan positif pada

permukaan ketika ditekan dan bermuatan negatif saat rileks / tidak terjadi penekanan dengan gaya yang diberikan. Gaya diperoleh dengan mengukur dan memperkirakan tekanan pada tangan/jari yang ditekan dengan keseimbangan berat dan banyaknya kecepatan gravitasi $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.



Gambar 4. Pengukuran I-V terhadap waktu pada perangkat piezoelektrik nanogenerator; a) pengukuran arus pada perangkat nanogenerator ketika *pressing* dan *releasing* menggunakan electrometer, b) sedangkan pengukuran tegangan menggunakan osiloskop, c) arus pada perangkat ketika *pressing* dan *releasing*, d) tegangan pada perangkat ketika *pressing* dan *releasing*

Gambar 4, menunjukkan bahwa prinsip fisik dibalik energi pelepasan pada perangkat piezoelektrik muncul dari bagaimana sifat piezoelektrik dan semikonduktor ZnO digabungkan. Perubahan bentuk ZnO *nanorods* menimbulkan *strain field* sepanjang nano *rod*, permukaan luarnya diregangkan ($+\epsilon$) dan permukaan bagian dalam ditekan ($-\epsilon$), jadi *strain* positif ($+\epsilon$) menyebabkan medan listrik positif ($+E$).

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dapat disimpulkan bahwa ZnO NRs disintesis dengan menggunakan metode hidrotermal sederhana pada substrat *stainless steel* pada



suhu 90° C selama 6 jam dan struktur kristal yang terbentuk *hexagonal wurtzite* dengan orientasi tertinggi di bidang (002) kearah sumbu-c. Pertumbuhan ZnO NRs menggunakan *Zinc Nitrate Tetrahydrate* 50 mM dan *Hexamethylenetetramine* 35 mM sehingga diperoleh perbandingan rasio 1,4:1. *Stainless steel* yang lain dilapisi *PolyLactic Acid* (PLA) dengan menggunakan metode *spin coating*. Diameter dan panjang ZnO NRs dari hasil SEM yang dihasilkan pada perbandingan rasio 1,4:1 masing-masing sebesar 81,568 nm dan 386,606 nm. Karakterisasi listrik nanogenerator untuk pengukuran arus menggunakan electrometer dan tegangan menggunakan osiloskop, maka hasil performa nanogenerator yang dihasilkan arusnya sebesar 85 nA dan teganganya 2,2 V.

Daftar Rujukan

- [1] A. Kathalingan, Hyun-Chang Park, Sam-Dong Kim, Hyun-Seok Kim, S. Velumani, T. Mathalingan. 2015. *Synthesis of ZnO Nanorods using Different Precursor Solutions and their Two Terminal Device Characterization*. Springer Science+Business Media New York.
- [2] C.T.Pan, Y.C. Chen, C.C. Heish, C.H. C.Y. Su, C.K. Yen, Z.H. Liu, W.C. Wang. 2011. *Ultrasonic Sensing Device with ZnO Piezoelectric Nanorods by Selectively Electro spraying Method*. Sensor and Actuator: A Physical (2014).
- [3] Chu-Hsuan Sha. 2011. *Microstructure and Surface Treatment of 304 Stainless Steel For Electronic Packaging*. Electrical Engineering and Computer Science Materials and Manufacturing Technology, University of California, Irvine, CA 92697-26660
- [4] Da-Yang Jug, Seong-Ho Baek, Md Roqibul Hasan, Il-Kyu Park. 2015. *Performance-Enhanced ZnO Nanorod-Based Piezoelectric Nanogenerators on Doubled-Sided Stainless Steel Foil*. Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST). Daegu 711-873, Republic of Korea.
- [5] Foo, K.L., Hashim, U., Muhammad, K., & Voon, C.H. 2014. *Sol-gel Synthesized Zinc Oxide Nanorods and their Structural and Optical Investigation for Optoelectronic Application*. Malaysia : Nanoscale Research Letters.
- [6] Goli Nagraju Et Al. 2014. *Effect of Diameter and Height of Electrochemically-Deposited ZnO Nanorods Arrays on the Performance of Piezoelectric Naogenerators*. Department of Electronics and Radio Engineering, Institute for Laser Engineering, Kyung Hee University, 1 Seocheon-Dong, Giheung-Gu, Yongin-Si, Gyeonggi-Do 446-701, Republic of Korea.
- [7] Hananto, Dkk. 2011. *Application of Piezoelectric Materials Film PVDF (Polyvinylidene Fluoride) as Liquid Viscosity Sensor*. Jurnal Neutrino, Vol. 3 (2).
- [8] Kumar, B & Kim, Sang.W. 2012. *Energy Harvesting Based on Semiconducting Piezoelectric ZnO Nanostructures*. Sungkyunkwan University (SKKU), Suwon 440-746, Republic of Korea.



- [9] M. Salem, Dkk. *Effect of Zinc Acetate Concentration on the Structural and Optical Properties of ZnO thin Films Deposited by Sol-gel Method*. Chongqing 400030, China.
- [10] Majid S. Al-Rugeishi Et Al. 2016. *Piezoelectric Nanogenerator based on ZnO Nanorods*. Department of Physics, College of Science, Sultan Qaboos University.
- [11] O. Ozgur., Dkk. 2005. *A Comprehensive Review of ZnO Materials and Device*. Department of Electrical Engineering and Physics Department, Virginia Commonwealth University, Richmond, Virginia 23284-3072.
- [12] Saravanakumar, M., Dkk. 2013. *Fabrication of ZnO Nanogenerator for Eco-Friendly Biomechanical Energy Harvesting*. California. State University at Fresno.
- [13] Wang., Et Al. 2004. *Nanogenerators Harvesting Body Motion Energy for Powering Conventional Electronics*. School of Materials Science and Engineering Georgia Institute of Technology Atlanta, GA.
- [14] Wu, Fan.,Et Al. 2016. *In-Situ Synthesis and Defect Evolution of Single-Crystal Piezoelectric Nanoparticles*. Princeton University, 70 Prospect Avenue, Princeton, NJ 08544, USA.
- [15] Xu, Sheng & Wang, Lin Zhong. 2011. *One-Dimensional ZnO Nanostructures: Solution Growth and Functional Properties*. School of Materials Science Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia 30332-0245, USA.
- [16] Youfan, Hu & Zhong Lin Wang. 2014. *Recent Progress in Piezoelectric Nanogenerators as a Sustainable Power Source in Self-Powered Systems and Active Sensors*. Peaking University, Beijing 100871. China: Journal Publication.