

## FABRIKASI DAN KARAKTERISASI NANOGENERATOR BERBASIS NANOFIBER-NANOWIRE ZnO

Imam Sholahuddin<sup>1</sup>, M. Fahrur Rozy H.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember Jl. Kalimantan 37 Jember 68121

Email: imam.teknik@unej.ac.id

### ABSTRACT

*Fiber diffusion process when the fiber is still green on a plate collector and the thermal decomposition process followed by the formation of ZnO crystal nucleation has a very large role of the morphology of the final form of fiber products. Conversely, a positive result occurs in nanowire growth process. At the time of natural air pressure conditions and the presence of oxygen in the air in the process of sintering for 2 hours without using a catalyst, ZnO crystals can grow by itself (self-growth) into a nanowire. As a material nanogenerator, this situation provides an additional active area to excite the tap-off force into electrical voltage of up to 234.55 mV (2  $\mu$ l / min).*

*Keywords: nano fibers, nanowire, nanogenerator*

### PENDAHULUAN

Bergesernya tren global dalam pemanfaatan sumber energi konvensional yang berasal dari fosil disebabkan semakin menipis ketersediaannya di alam. Kondisi tersebut telah mendorong masyarakat untuk mencari berbagai cara alternatif dalam pengolahan dan pemanfaatan sumber energi terbarukan yang berasal dari energi angin, panas bumi, matahari, gerakan ombak laut, aliran air serta limbah atau sampah. Bahkan sumber energi terkecil dan terdekat yang ada disekitar manusia seperti energi panas tubuh, gerakan tubuh, getaran residu yang dihasilkan dari gerakan-gerakan benda di lingkungan sekitar kini sudah mulai diteliti dan dimanfaatkan keberadaannya.

Hadirnya teknologi nano menjadikan proses konversi energi semakin leluasa untuk menjangkau potensi-potensi kecil (nano) energi agar dapat dikonversi dan digunakan sebagai potensi sumber energi alternatif terbarukan. Munculnya istilah baru nanogenerator dalam klasifikasi sumber energi listrik yang berasal dari proses konversi energi mekanis atau thermal dengan melibatkan skala nano material ataupun prosesnya telah dipopulerkan oleh Profesor Wang Z.L. berasal *Georgia Insititute of Technology* pada sekitaran tahun 2006. Pemeran utama berkembangnya penelitian nanogenerator tidak terlepas dari peran material semikonduktor yang terus mengalami eksplorasi karakteristik yang semakin beragam, unik dan terus ditemukannya inovasi-inovasi baru hingga saat ini.

Seperti halnya sifat termoelektrik, piezoelektrik maupun photoelektrik yang dapat dimunculkan dari satu jenis material semikonduktor yaitu Seng oksida (ZnO) dalam skala nano dengan bentuk morfologi *nanofilm, serat nano, dan nanowire* [1]. Luasnya cakupan karakteristik material Seng oksida (ZnO) menjadikan daya tarik tersendiri untuk menjadi sebuah objek penelitian yang selalu hangat dan menarik. Teknologi pemanen energi khususnya yang berbasis piezoelektrik telah banyak dipilih dan

dikembangkan menuju fungsi aplikatif yang lebih ringkas, portabel dan fleksibel [2]. Seperti halnya keyboard, pakaian, dan tekanan tumit pada sepatu, dengan adanya pergerakan tubuh secara mekanis dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan menempatkan material yang memiliki sifat piezoelektrik.

Topik penelitian energi terbarukan khususnya bidang material maju penghasil energi terbarukan masih sangat sedikit jumlahnya dibandingkan dengan ragam topik penelitian tentang energi terbarukan yang ada saat ini. Luaran yang menjadi target penelitian ini yaitu prototype material piezoelektrik ZnO berbasis *serat nano-nanowire* sebagai bahan utama pembuatan nanogenerator ZnO pengkonversi energi mekanis menjadi energi listrik. Produk luaran ini diharapkan akan menjadi kontribusi yang positif untuk memperkaya perkembangan ilmu pengetahuan di Indonesia.

### TINJAUAN PUSTAKA

Morfologi piezoelektrik berbentuk serat nano telah dapat diproduksi via *electrospinning* dan mulai banyak diteliti karena kemudahan proses fabrikasi dengan biaya yang murah [3]. Serat nano ZnO termasuk dalam kategori serat *nonwovens* dengan pola jaringan serat acak yang memiliki susunan bertumpuk dan berinteraksi secara natural saling menahan dan mengikat. Pola tersebut menyebabkan daya serap energi mekanis yang lebih baik daripada material padat, dengan cara mendistribusikan gaya mekanis secara bertahap dari satu serat hingga ke serat yang terjauh hingga mencapai kegagalan dalam rentang fungsi waktu yang panjang. Energi mekanis yang terjadi pada jaringan serat menyebabkan terjadinya energi regangan-tegangan yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh material piezoelektrik.

Berdasarkan penelitian sebelumnya terdapat pengaruh yang kuat antara laju aliran pada proses penyemprotan larutan mesin *electrospinning* dengan diameter serat yang dihasilkan yaitu semakin besar laju aliran maka semakin besar nilai diameter serat. Demikian pula daya listrik yang dihasilkan linier terhadap ukuran serat yang semakin kecil akan semakin besar pula nilai daya listrik yang dapat dieksitasi. Akan menjadi penelitian yang menarik dengan memperkecil ukuran serat nano ZnO disertai penumbuhan *nanowire* dipermukaan serat sehingga dapat menghasilkan daya listrik yang lebih besar dibandingkan penelitian sebelumnya.

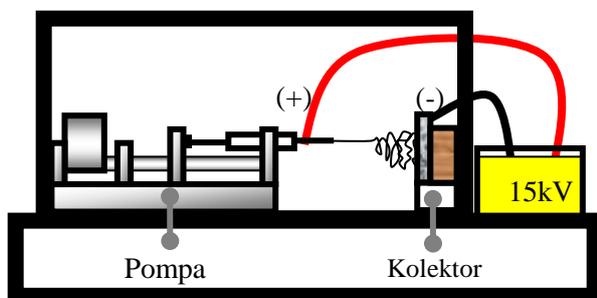
### Nanogenerator

Perkembangan ini telah diprediksi oleh Departemen Energi Amerika Serikat pada tahun 1997, bahwa sumber energi listrik hasil konversi energi mekanis telah mengarah pada teknologi *nanogenerator* piezoelektrik yang ringkas dan portabel dan banyak dikembangkan pada saat ini [4]. *Nanogenerator* piezoelektrik terus mengalami perkembangan dengan basis teknologi nano dan telah menghasilkan puluhan paten khususnya pada material jenis seng oksida (ZnO). Beberapa penelitian terkini diantaranya adalah ZnO *nanowire* sebagai nanogenerator mampu menghasilkan tegangan puncak hingga 25 mV seperti yang dilaporkan oleh Wang, Z. L.[5], selain itu Fang, T. H., *et. al.*, dengan material ZnO:Al berbasis *nanorods* melaporkan hasil penelitiannya dengan tegangan puncak hingga 60 mV. Sedangkan laporan mengenai *nanogenerator* khusus berbasis serat nano telah dirangkum oleh Chang, *et. al.*, [6] menyebutkan bahwa material jenis polimer PVDF memiliki nilai eksitasi yang tinggi sebesar 2,21 Volt, dimana untuk jenis serat nano ZnO belum banyak laporan penelitian mengenai unjuk kerjanya.

Dari beberapa percobaan penelitian yang pernah dilakukan terkait dengan pembuatan serat nano ZnO dengan menggunakan teknologi *electrospinning* telah memberikan informasi yang cukup mendukung dan mudah dipahami sehingga dapat diterapkan dalam penelitian serta percobaan di lapangan.

### Electrospinning

Serat nano dapat diperoleh dengan menggunakan mesin *electrospinning* melalui penyemprotan larutan yang telah diberi muatan listrik positif (ujung jarum/jet) terhadap pelat kolektor yang telah dihubungkan dengan listrik negatif.



Gambar 1. Peralatan *electrospinning*

Serat nano dihasilkan dari larutan yang dipompa keluar dengan kecepatan tertentu kemudian medan elektrostatis akan menciptakan kerucut diujung

jarum, ujung kerucut selanjutnya tertarik ke pelat kolektor dengan tiga tahapan penting yaitu pembentukan kerucut, penarikan larutan menjadi serat, kemudian semakin mendekati kerucut terjadi ketidakstabilan dan terjadi *spinning* hingga mencapai pelat kolektor. Secara sederhana, peralatan *electrospinning* dapat dilihat pada gambar 1.

### Sintering

Istilah sinter telah umum digunakan untuk membuat suatu objek dari sebelumnya berbentuk serbuk yang berbasis pada proses difusi atomik. Difusi terjadi pada saat pemanasan yang biasanya dibawah titik didih, kemudian terjadi fusi atau penyatuan hingga terbentuk material solid. Dalam proses sintesa suatu material, difusi terjadi seiring terjadinya dekomposisi *thermal* materi organik penyusun material awal sebelum pemanasan. Berdasarkan hasil penelitian Park, J.Y., *et. al.*, [7] diketahui proses dekomposisi material PVA/ZnAc terhadap perubahan suhu selama proses sintering. Sebagian besar materi organik PVA dan asam asetat terdekomposisi atau hilang pada suhu 440°C. Juga dilaporkan bahwa setelah temperature mencapai 420°C tidak terdapat perubahan berat material yang menunjukkan kandungan pelarut dan polimer telah terdekomposisi sepenuhnya menjadi fasa ZnO. Perubahan temperatur yang terjadi pada material saat proses sintering mengakibatkan perubahan tekanan lingkungan secara alamiah. Hal ini berdampak pada saat proses inisiasi nukleasi pembentukan akhir morfologi material ZnO. Bentuk kristal ZnO pada umumnya termasuk dalam grup fasa hexagonal yang secara natural pertumbuhan ZnO yang terjadi disepanjang sumbu *c* lebih cepat daripada sumbu *a* dan *b* yang dapat diakibatkan oleh perubahan temperatur dan tekanan lingkungan.

Proses penumbuhan *nanowire* diperkirakan mengikuti arah sumbu *c* pada susunan kristal ZnO. Faktor yang menyebabkan keadaan ini disebabkan oleh tekanan chamber, tekanan parsial oksigen dan ketebalan katalis yang diberikan pada permukaan ZnO. Berdasarkan penelitian Wang Z.L., [5] ditemukan bahwa tekanan oksigen parsial dan sistem tekanan total memainkan peranan penting dalam pertumbuhan *nanowire* ZnO.

### METODOLOGI PENELITIAN

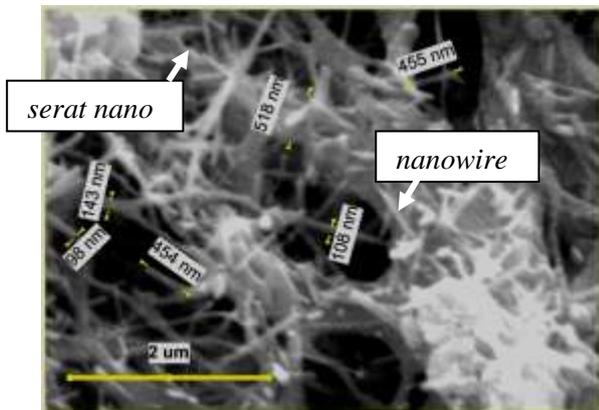
Larutan PVA (1:10 % wt) disiapkan terlebih dahulu menggunakan 2 g PVA yang dicampur dengan 20 g H<sub>2</sub>O, dihomogenisasi dengan pengadukan pada suhu 70°C selama 4 jam dan didiamkan pada suhu ruang selama 8 jam. Kemudian larutan ZnAc diperoleh dengan pencampuran 2 g (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>Zn.2H<sub>2</sub>O dan 8 g H<sub>2</sub>O yang diaduk selama 1 jam dengan suhu 70°C. Setelah itu larutan ZnAc dicampur dengan PVA (1:4 %wt) dan diaduk pada suhu 70°C selama 8 jam, didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam, sehingga dihasilkan larutan bening ZnAc/PVA yang disiapkan untuk mensintesa serat nano ZnO.

Sintesa serat nano menggunakan mesin *electrospinning* (gambar 1) dengan cara

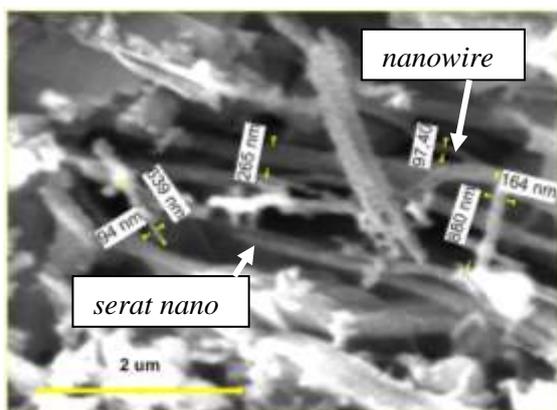
memasukkan masing-masing larutan ke dalam 1 mL pompa suntik. Jarum dihubungkan dengan terminal positif dengan jarak 8 cm horisontal terhadap pelat kolektor aluminium yang terhubung dengan terminal negatif dan tegangan tinggi yang diterapkan sebesar 15 kV. Pada saat tegangan tinggi dihidupkan dan larutan mulai didorong keluar dengan variasi laju aliran 1- 6  $\mu\text{L}/\text{menit}$ , larutan akan tertarik oleh medan elektrostatis dan menempel dengan sendirinya dipermukaan pelat kolektor menjadi *green fibers*. Selanjutnya disintering dengan suhu  $600^\circ\text{C}$  untuk menghilangkan materi organik karena di atas suhu  $440^\circ\text{C}$  sudah terdekomposisi seluruhnya [8] dan yang tersisa hanyalah serat nano ZnO. Proses penumbuhan *nanowire* diamati dengan melakukan variasi waktu sintering selama 2, 4, 6 dan 8 jam. Karakterisasi morfologi dan kristalinitas serat nano ZnO diperoleh dengan pengujian SEM dan XRD.

Selanjutnya kemampuan piezoelektrik untuk menghasilkan energi diukur dengan membaca perubahan tegangan secara langsung (*realtime*) dengan penerapan beban tekan-lepas sebesar 0,5 kgf. Peralatan yang digunakan adalah akuisisi data merek ADAM Advantech seri 4018. Besarnya beban 0,5 kgf dilakukan untuk mewakili kondisi terapan tekanan jari lemah [9]. Unjuk kerja piezoelektrik dapat dicari berdasarkan besarnya perubahan tegangan (Volt) yang dihasilkan oleh *nanogenerator* piezoelektrik ZnO.

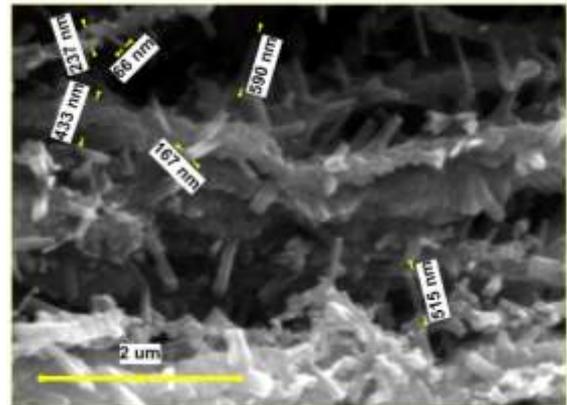
## HASIL DAN PEMBAHASAN



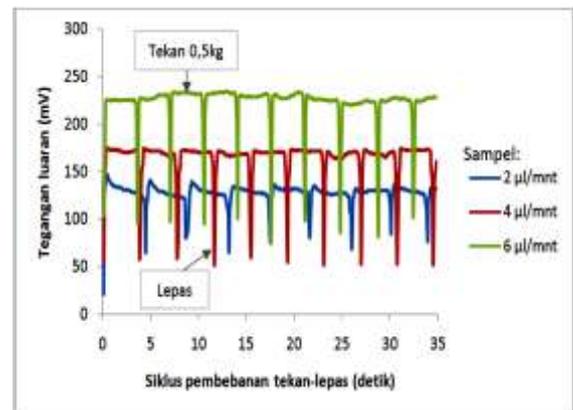
Gambar 2. Hasil Pengujian SEM pada sampel serat nano ZnO 2  $\mu\text{L}/\text{mnt}$



Gambar 3. Hasil Pengujian SEM pada sampel serat nano ZnO 4  $\mu\text{L}/\text{mnt}$



Gambar 4. Hasil Pengujian SEM pada sampel serat nano ZnO 6  $\mu\text{L}/\text{mnt}$



Gambar 5. Unjuk kerja tegangan keluaran (mV) dengan pemberian beban tekan-lepas sebesar 0,5 kg.

Serat nano yang dibuat menggunakan proses *electrospinning* telah berhasil dilakukan. Berdasarkan gambar 2, 3, dan 4, hasil pengujian morfologi menggunakan SEM dapat dilihat bahwa ukuran serat nano yang dihasilkan homogenitasnya rendah, terlihat saling bertumpuk dan beberapa diantaranya menyatu dengan serat yang lain dengan kisaran ukuran 90 – 500 nm. Berbeda dengan *nanowire* yang tumbuh di permukaan serat dan terlihat kontras dengan ukuran yang memiliki keseragaman pada diameternya sebesar 66 – 98 nm, dan tingginya berada pada kisaran 400 - 800 nm. Sedangkan unjuk kerja sampel uji serat nano-*nanowire* ZnO sebagai *nanogenerator* pada gambar 5 menghasilkan angka tegangan puncak sebesar 146,77 mV (sampel c), 175,1 mV (sampel b), dan 234,55 mV (sampel a). Pada saat pelepasan beban tekan selama >1 detik, serat nano-*nanowire* ZnO mampu menahan tegangan keluaran hingga 50% dari tegangan puncak yang dihasilkan dan memiliki nilai yang stabil dan seragam pada saat proses pemberian beban tekan sebesar 0,5 kg.

Pengaruh variasi laju aliran terhadap diameter serat tidak dapat terlihat dengan jelas pada gambar 5. Hal ini disebabkan oleh adanya difusi antar serat pada saat proses *electrospinning* seperti

pembentukan green fiber pada pelat kolektor tidak sepenuhnya kering, saling bertumpuk dan diantaranya saling menyatu. Sehingga lebih nampak berbentuk gumpalan dan sedikit sekali yang nampak utuh dalam bentuk serat. Selain permasalahan diatas proses sintering juga menentukan terjadinya difusi serat, karena pada saat terjadi pembentukan nukleasi dan penumbuhan kristal ZnO beberapa diantaranya saling berdifusi. Keadaan yang berbeda terjadi pada morfologi *nanowire* yang tumbuh dipermukaan serat, tampak jelas dengan bentuk yang hampir seragam dengan panjang *nanowire* antara 400 – 800 nm, dengan diameter 66 – 167 nm. Keseragaman ini disebabkan oleh lama waktu sintering yang sama, sehingga nilai tekanan chamber dan tekanan parsial oksigen atau udara secara alamiah yang diberikan pada permukaan ZnO juga sama. Dimana menurut [5] tekanan chamber dan tekanan parsial oksigen memiliki peranan penting dalam proses penumbuhan *nanowire* meskipun pada penelitian ini dilakukan tanpa menggunakan katalis sebagai pemicu terjadinya pertumbuhan. Sehingga rekayasa material penumbuhan *nanowire* ZnO semakin mudah untuk dilakukan dengan cara *self-growth*.

Unjuk kerja serat nano-*nanowire* sebagai nanogenerator ZnO menunjukkan perilaku yang menarik. Dengan pemberian beban tekan-lepas sebesar 0,5 kg, semakin kecil laju aliran penyemprotan larutan nilai tegangan keluaran (mV) semakin tinggi. Hal disebabkan oleh hubungan tidak langsung antara laju aliran penyemprotan dengan luasan aktif serat nano-*nanowire*, dimana semakin besar laju aliran semakin tinggi nilai tegangan keluaran dengan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) hingga 234,55 mV ( $2 \mu\ell/mnt$ ). Hal ini disebabkan jumlah serat nano-*nanowire* yang dihasilkan dalam satu luasan semakin besar dengan semakin kecilnya laju aliran *electrospinning*.

## KESIMPULAN

Beberapa sumber bacaan memberikan informasi yang cukup akurat mengenai pengaruh antara laju aliran penyemprotan larutan terhadap dimensi serat yang dihasilkan, semakin lambat laju aliran maka akan menghasilkan serat nano yang berukuran semakin kecil. Berbeda dengan hasil penelitian ini, ternyata beberapa faktor proses fabrikasi serat akan banyak mempengaruhi morfologi produk akhir serat. Kemungkinan terjadinya difusi serat pada kondisi masih *green fiber* pada pelat kolektor dan saat proses dekomposisi thermal yang diikuti dengan pembentukan nukleasi kristal ZnO memiliki peranan yang sangat besar. Sehingga bentuk morfologi serat tidak terlalu kontras dan hanya terlihat seperti gumpalan serat yang menyatu. Namun hasil yang cukup positif terjadi pada proses penumbuhan *nanowire*. Tekanan udara alamiah serta keberadaan oksigen pada udara bebas pada saat

sintering dengan waktu yang cukup lama, tanpa menggunakan katalis dapat memberikan kesempatan beberapa kristal ZnO untuk tumbuh dengan sendirinya (*self-growth*) menjadi *nanowire*. Sebagai material nanogenerator, keadaan ini memberikan tambahan luasan aktif untuk mengeksitasi gaya tekan-lepas menjadi tegangan listrik dalam miliVolt. Semakin lambat laju aliran penyemprotan larutan menjadi serat, maka luasan aktif nanogenerator semakin besar dan tegangan listrik yang dihasilkan juga semakin besar. Sehingga akan menjadi potensi yang cukup menarik material ZnO berbasis serat nano-*nanowire* menjadi prototype nanogenerator dengan aplikasi yang lebih luas.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wang, Z. L. 2008. *Towards Self-Powered Nanosystems: From Nanogenerators to Nanopiezotronics*. *Advanced Functional Materials*. 18(22). 3553-3567.
- [2] Rodig, T., A. Schonecker, dan G. Gerlach. 2010. *A Survey on Piezoelectric Ceramics for Generator Applications*. *Journal of the American Ceramic Society*. 93(4). 901-912.
- [3] Park, J.-a., J. Moon, S.-j. Lee, S.-c. Lim, dan T. Zyung. 2009. *Fabrication and Characterization of ZnO Nanofibers by Electrospinning*. *Current Applied Physics*. 9(3). S210-S212.
- [4] Fry, D. N., D. E. Holcomb, J. K. Munro, L. C. Oakes, dan M. J. Matson. (1997). *Compact Portable Electric Power Source*. Oak Ridge laboratory.
- [5] Wang, Z. L. 2008. *Towards Self-Powered Nanosystems: From Nanogenerators to Nanopiezotronics*. *Advanced Functional Materials*. 18(22). 3553-3567.
- [6] Chang, J., M. Dommer, C. Chang, dan L. Lin. 2012. *Piezoelectric Nanofibers for Energy Scavenging Applications*. *Nano Energy*. 1(3). 356-371.
- [7] Park, J. Y., dan S. S. Kim. 2009. *Growth of Nanograins in Electrospun ZnO Serat nanos*. *J. Am. Ceramic. Soc.* 92(8). 1691-1694.
- [8] Yang, X., C. Shao, H. Guan, X. Li, dan J. Gong. 2004. *Preparation and Characterization of ZnO Nanofibers by using Electrospun PVA/zinc acetate Composite Fiber as Precursor*. *Inorganic Chemistry Communication*. 7. 176-178
- [9] Choi, D., K. Y. Lee, K. H. Lee, E. S. Kim, T. S. Kim, S. Y. Lee, et al. 2010. *Piezoelectric Touch-Sensitive Flexible Hybrid Energy Harvesting Nanoarchitectures*. *Nanotechnology*. 21(40). 405503