

**UJI UNJUK KERJA NANOGENERATOR  
PIEZOELEKTRIK BERBASIS SENG OKSIDA DENGAN  
DOPING ALUMINIUM DAN KOBALT**

**TESIS**

**Disusun untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Mencapai Derajat  
Magister Program Studi Teknik Mesin**



**Oleh:**

**Lukman Nulhakim**

**NIM. S951102005**

**MAGISTER TEKNIK MESIN  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET**

**2014**



**HALAMAN PENGESAHAN**  
**UJI UNJUK KERJA NANOGENERATOR**  
**PIEZOELEKTRIK BERBASIS OKSIDA SENG DENGAN**  
**DOPING ALUMINIUM DAN KOBALT**

**TESIS**

Disusun oleh:

**Lukman Nulhakim**

**NIM. S951102005**

Komisi Pembimbing	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Pembimbing I	Dr.techn. Suyitno, S.T., M.T. NIP 1974090222001121002		
Pembimbing II	Agung Tri Wijayanta, S.T., M.Eng., Ph.D. NIP 197108311997021001		2014/05 11

Telah dinyatakan memenuhi syarat  
pada tanggal 2014



**UJI UNJUK KERJA NANOGENERATOR  
PIEZOELEKTRIK BERBASIS OKSIDA SENG DENGAN  
DOPING ALUMINIUM DAN KOBALT**




**TESIS**

**Disusun oleh:**

**Lukman Nulhakim**


**NIM. S951102005**

Tim Penguji

Jabatan	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Ketua	Prof. Muh. Nizam, S.T., M.T., Ph.D. NIP 197007201999031001		
Sekretaris	Dr. Eng. Syamsul Hadi, ST., M.T. NIP 197106151998021002		
Anggota Penguji	1. Dr. techn. Suyitno, S.T., M.T. NIP 1974090222001121002 2. Agung Tri Wijayanta, S.T., M.Eng., Ph.D. NIP 197108311997021001		2014/05 11

Telah dipertahankan di depan penguji  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat  
pada tanggal 2014

Direktor Program Pascasarjana UNS



Prof. Dr. Ir. Ahmad Yunus, M.S.  
NIP 196107171986011001

Ketua Program Studi  
Magister Teknik Mesin



Dr. techn. Suyitno, S.T., M.T.  
NIP 1974090222001121002

## PERNYATAAN ORISINALITAS DAN PUBLIKASI ISI TESIS

Saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

1. Tesis yang berjudul : **“UJI UNJUK KERJA NANOGENERATOR PIEZOELEKTRIK BERBASIS SENG OKSIDA DENGAN DOPING ALUMINIUM DAN KOBALT”** ini adalah karya penelitian saya sendiri dan bebas plagiat, serta tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik serta tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis digunakan sebagai acuan dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber acuan serta daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan (Permendiknas No 17, tahun 2010)
2. Publikasi sebagian atau keseluruhan isi Tesis pada jurnal atau forum ilmiah lain harus seijin dan menyertakan tim pembimbing sebagai *author* dan PPs UNS sebagai institusinya. Apabila dalam waktu sekurang-kurangnya satu semester (enam bulan sejak pengesahan tesis) saya tidak melakukan publikasi dari sebagian atau keseluruhan tesis ini, maka Prodi Magister Teknik Mesin UNS berhak mempublikasikannya pada jurnal ilmiah yang diterbitkan oleh Prodi Magister Teknik Mesin UNS. Apabila saya melakukan pelanggaran dari ketentuan publikasi ini, maka saya bersedia mendapatkan sanksi akademik yang berlaku.

Surakarta, Oktober 2014

Mahasiswa,

Lukman Nulhakim  
S951102005

Lukman Nulhakim, NIM: S951102005, 2014. **UJI UNJUK KERJA NANOGENERATOR PIEZOELEKTRIK BERBASIS SENG OKSIDA DENGAN DOPING ALUMINIUM DAN KOBALT.** Pembimbing I: Dr. Techn. Suyitno, S.T., M.T. Pembimbing II: Agung Tri Wijayanta, S.T., M.Eng., Ph.D. Tesis Program Studi Magister Teknik Mesin. Program Pasca Sarjana. Universitas Sebelas Maret Surakarta.

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menguji unjuk kerja *nanogenerator* (NG) piezoelektrik ZnO dengan doping Aluminium dan Kobalt. Doping Aluminium dilakukan dengan mencampur material ZnO dengan masing-masing perbandingan 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12 dan 14% dari berat total  $\text{AlCl}_3+\text{ZnAc}$  selama 8 jam pada suhu  $70^\circ\text{C}$ , begitu juga untuk Kobalt dari berat total  $\text{CoAc}+\text{ZnAc}$ , metode elektrospinning dipilih untuk menghasilkan serat nano yang disintering pada suhu  $500^\circ\text{C}$  selama 4 jam. Dengan cara yang sama dilakukan pendopongan 2 material sekaligus dengan masing-masing doping pada hasil daya yang maksimal. Uji unjuk kerja dilakukan dengan penerapan beban tekan-lepas sebesar 0,5 kgf pada NG piezoelektrik dengan menggunakan akuisisi data. Dari penelitian ini dihasilkan kristalinitas terbesar pada 10% Al dan 11% Co yaitu 83,7% dan 80,6 %, diameter kristal doping Al dan Co berkisar antara 24-83 nm dan 19-32 nm. Nilai unjuk kerja NG piezoelektrik ZnO dengan doping lebih besar dari pada NG piezoelektrik ZnO tanpa doping. Daya dan tegangan yang dihasilkan NG  $\text{AlCl}_3+\text{ZnAc}$  terbesar pada doping 10% Al yaitu 125,9 nW, 254,4 mV sedangkan NG  $\text{CoAc}+\text{ZnAc}$  terbesar pada pendopongan 11% Co sebesar 145,6 nW, 315,4 mV. Selanjutnya pendopongan 2 material sekaligus  $\text{AlCl}_3+\text{CoAc}+\text{ZnAc}$  terbesar pada perbandingan 75% Co:25% Al yaitu 169,7 nW, 352,3mV. Penambahan 2 material sekaligus pada NG piezoelektrik dapat meningkatkan unjuk kerja NG piezoelektrik berbasis ZnO.

Kata kunci: *nanogenerator*, *electrospinning*, *sintering*, ZnO, aluminium, kobalt, piezoelektrik

Lukman Nulhakim, NIM: S951102005, 2014. *The Performance Piezoelectric Nanogenerator Based Zinc Oxide doped by Aluminium and Cobalt*. Supervisor I: Dr. Techn. Suyitno, S.T., M.T. Supervisor II: Agung Tri Wijayanta, S.T., M.Eng., Ph.D. Thesis. Master on Mechanical Engineering. Graduate School. Sebelas Maret University, Surakarta.

### **ABSTRACT**

*The research aims to investigate the performance of the piezoelectric ZnO nanogenerator (NG) which were doped by Aluminium and Cobalt. The doping process of Aluminium was obtained by mixing  $AlCl_3$  in 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12 and 14% of total weight with ZnAc at  $70^\circ C$  for 8 hours, as well as to the doping process of Cobalt by mixing CoAc with ZnAc. The electrospinning was a chosen method in order to produce nano fibers, then the nano fiber sintered at temperature at  $500^\circ C$  for 4 hours. Base on the maximum power output of each mixture, the doping process of 2 materials at once, Al and Co, in the same way was already done. The performance test was conducted with the compressive load of 0.5 kgf-off on the piezoelectric NG using data acquisition. The biggest result of crystalinity were 83,7% and 80,6% by 10% Al and 11% Co respectively, while the crystal diameter of Al and Co doped ZnO were range between 24-83 nm and 19-32 nm respectively. The performance of ZnO NG piezoelectric with doping process greater than without doping process. The biggest power of 125.9 nW and voltage of 254.4 mV were generated by  $AlCl_3+ZnAc$  and 10% doping of Al, while for CoAc+ZnAc and 11% doping of Co the highest power and voltage were 145.6 nW and 315.4 mV, respectively. Furthermore, the performance of power and voltage from ZnO based NG piezoelectric using doping process of 2 materials of  $AlCl_3+CoAc+ZnAc$  at once in comparison of 75% Co:25% Al were 169.7 nW and 352.3mV.*

*Keywords: nanogenerator, electrospinning, sintering, ZnO, aluminium, cobalt, piezoelectric*

## KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah, segala puji hanya kepada Allah SWT. atas segala nikmat cahaya ilmu pengetahuan, kemudahan serta petunjuk yang telah diberikan sehingga dapat terselesaikan dengan baik penulisan tesis dengan judul “**UJI UNJUK KERJA NANOGENERATOR PIEZOELEKTRIK BERBASIS SENG OKSIDA DENGAN DOPING ALUMINIUM DAN KOBALT**”. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Dengan terselesaikannya laporan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. techn. Suyitno, S.T., M.T., selaku Pembimbing I yang telah memberikan inspirasi dan bimbingan dalam menyelesaikan penulisan tesis ini.
2. Bapak Agung Tri Wijayanta, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Pembimbing II yang telah memberikan inspirasi dan bimbingan dalam menyelesaikan penulisan tesis ini.
3. Seluruh Dosen Magister Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu, inspirasi dan motivasi selama menjalani proses perkuliahan.
4. Bapak (Alm) dan ibu di Banyuwangi yang telah setia memberikan do'a dan nasehat serta dukungan materiil.
5. Bapak dan mamah di Tasikmalaya yang telah setia memberikan do'a dan nasehat serta dukungan materiil.
6. Istriku Mia Destikawanti, SE dan anakku Hafizh Zaki Ramadhan yang telah setia memberikan do'a dan nasehat serta waktunya.
7. Kakak dan adik di rumah yang telah setia memberikan do'a dan nasehat.
8. Rekan-rekan di *Lab. Biofuel & Advanced Energy*: Pak Imam Sholahudin, Pak Trisma, Mas Mirza, Mas Huda, Mas Darmanto, Mas Tarmo, Pak Agus, Pak Bayu, Mas Kinas dan Mas Hery yang telah kompak berjuang dan saling membantu.

Harapan penulis mudah-mudahan tesis ini menjadi sumber inspirasi bagi pembaca sebagai tambahan wacana ilmu pengetahuan dan teknologi. Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan untuk kesempurnaan penyusunan tesis ini. Semoga tesis ini dapat menjadi manfaat bagi kita semua.

Surakarta,

Penulis



## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS DAN PUBLIKASI ISI TESIS .....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Batasan Masalah .....	2
1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
1.4. Hipotesis .....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1. Penelitian Terdahulu.....	5
2.2. Dasar Teori .....	8
2.2.1. Piezoelektrik.....	8
2.2.2. Material Piezoelektrik .....	9
2.2.3. Elektrosinning .....	12
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>15</b>
3.1. Alat dan Bahan Penelitian .....	15
3.2. Prosedur Penelitian .....	16
3.3. Diagram Alir Penelitian.....	18
3.4. Analisis Data .....	19
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISIS.....</b>	<b>20</b>
4.1. Pengujian XRD.....	20
4.2. Pengujian SEM.....	24
4.3. Pengujian Unjuk Kerja <i>Nanogenerator</i> Piezoelektrik.....	28

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	32
5.1. Kesimpulan.....	32
5.2. Saran .....	32
Daftar Pustaka .....	33
Lampiran.....	35

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Rangkuman <i>nanogenerator</i> berbasis piezoelektrik menggunakan serat nano.....	6
Tabel 2.2 Rangkuman prosedur pembuatan serat nano ZnO menggunakan teknologi elektrospinning.....	6
Tabel 2.3 Pengaruh perubahan parameter proses elektrospinning terhadap morfologi serat nano yang dihasilkan .....	14
Tabel 4.1. Nilai diameter kristal dan kristalinitas dari semikonduktor .....	23
Tabel 4.2. Diameter serat nano ZnO dengan pendopongan AlCl <sub>3</sub> dan ZnAc.....	27
Tabel 4.3. Diameter serat nano ZnO dengan penambahan Al-Co .....	27
Tabel 4.4. Daya dan tegangan maksimum yang dihasilkan oleh <i>nanogenerator</i> piezoelektrik berbasis Al-ZnO dan Co-ZnO .....	29
Tabel 4.5. Daya dan tegangan maksimum pada NG piezoelektrik Al-Co-ZnO.....	31

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hasil pengujian TEM a) ZnO dan b) Serbuk AZO dikalsinasi pada 600 °C.....	5
Gambar 2.2 Efek Piezoelektrik .....	8
Gambar 2.3 Model pembebanan <i>nanogenerator</i> PZT .....	9
Gambar 2.4 Struktur kristal ZnO .....	10
Gambar 2.5 Data XRD nanofibers setelah dikalsinasi pada 600 °C selama 1 jam, a) CoAc/PVA, b) CoAc/ZnAc/PVA, dan c) ZnAc/PVA.....	11
Gambar 2.6 Grafik kondisi tegangan dan regangan.....	11
Gambar 2.7 Mesin Elektrosinning Vertikal .....	12
Gambar 2.8 a) Gaya-gaya yang bekerja pada tetesan ujung suntikan; b) Lekukan tidak stabil setelah melewati <i>Taylor cone</i> .....	133
Gambar 3.1 Mesin elektrosinning horisontal .....	177
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian.....	18
Gambar 4.1. Pola difraksi sinar-X pada material Al-ZnO .....	220
Gambar 4.2. Pola difraksi sinar-X pada material Co-ZnO .....	21
Gambar 4.3. Pola difraksi sinar-X pada material Al-Co-ZnO .....	22
Gambar 4.4. Foto SEM material Al-ZnO.....	25
Gambar 4.5. Foto SEM material Co-ZnO.....	26
Gambar 4.6. Foto SEM material Al-Co-ZnO.....	27
Gambar 4.7. Daya dan tegangan NG piezoelektrik Al-ZnO.....	29
Gambar 4.8. Daya dan tegangan dari NG piezoelektrik Co-ZnO .....	30
Gambar 4.9. Daya dan tegangan dari NG piezoelektrik Co-Al-ZnO.....	30