

## **PENGARUH VARIASI PANJANG KUMPARAN TERHADAP VOLTASE YANG DIHASILKAN MEKANISME VIBRATION ENERGY HARVESTING**

Wiwiek Hendrowati, Bambang Daryanto W., Harus Laksana G.,

Jurusan Teknik Mesin  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Jl. Arief Rahman Hakim, Kampus Sukolilo, Surabaya  
Jawa Timur, Indonesia  
Telp. (031) 5946230, Fax. (031) 5922941, E-mail : wiwiek@me.its.ac.id.

### **Abstrak**

*Penelitian ini membahas rancang bangun mekanisme vibration energy harvesting (VEH) berdasarkan metode electromagnetic, dimana sumber energi berasal dari getaran translasi-harmonik. Pada mekanisme VEH yang dikonstruksi, massa magnetik bergerak bolak-balik secara linier dalam kumparan yang terbuat dari lilitan kawat konduktif. Berdasar pada gerak osilasi massa dengan amplitudo dan frekuensi tertentu, energi yang dapat di-harvest kemudian diukur dan dianalisa. Pada mekanisme VEH tersebut ukuran massa, diameter dan material kawat, jumlah lilitan, serta amplitudo dan frekuensi getaran dibuat konstan; sedangkan panjang kumparan divariasikan. Pada penelitian ini panjang kumparan yang diuji adalah : 12 mm, 15 mm, 18 mm, 21 mm dan 24 mm. Dari penelitian yang dilakukan voltase yang dihasilkan oleh mekanisme VEH (sesuai dengan panjang kumparan yang diuji), secara berturut-turut, adalah : 11,64 volt, 10,70 volt, 9,76 volt, 8,35 volt dan 6,95 volt.*

**Kata kunci :** vibration energy harvesting, metode electromagnetic, getaran translasi-harmonik

### **1. Pendahuluan**

Perkembangan teknologi memerlukan dukungan ketersediaan sumber energi untuk menjalankan peralatan, dimana salah satunya berupa energi listrik. Energi listrik yang diperlukan tersebut dapat diperoleh dari suatu sumber energi lain dengan menggunakan teknologi pembangkit energi listrik. Selain pembangkit energi listrik skala makro yang mampu menghasilkan energi listrik dalam skala besar (seperti konversi energi air, angin, panas bumi), terdapat pula pembangkit energi listrik skala mikro, yang pada umumnya memanfaatkan energi sekitar (seperti energi getaran, perbedaan temperatur, sinar) untuk dikonversikan ke bentuk energi listrik. Dari kemungkinan sumber energi skala mikro, getaran / gerak merupakan sumber energi yang menarik, karena pada umumnya benda yang bergerak atau peralatan yang beroperasi (baik dengan kecepatan tinggi atau rendah) akan menimbulkan getaran,

yaitu gerak osilatif yang terjadi dalam rentang waktu yang cukup lama. Sementara itu, selama ini ditengarai bahwa getaran atau gerak merupakan salah satu sumber energi yang sebagian besar tidak termanfaatkan dan hilang begitu saja di sekitar kita. Berdasar pada kenyataan tersebut muncul ide untuk me-harvest energi dari getaran yang terjadi.

Energi yang terjadi di getaran didasarkan pada adanya perpindahan relatif massa terhadap *frame* dari sistem, karena adanya fleksibilitas antara massa dengan *frame*. Perpindahan yang dimaksud terwujud dalam gerak osilatif, dimana dari gerak yang terjadi, terindikasikan adanya kecepatan dan percepatan gerak yang berubah secara vektorial (nilai dan arah). Kecepatan gerak sendiri diasosiasikan dengan energi kinetik. Dalam hal ini perlu diperhatikan adanya disipasi energi akibat redaman pada sistem getar, yang berasal dari gesekan atau *damper*. Pada gilirannya, energi getaran dapat dikonversikan ke bentuk energi listrik



melalui medan listrik (*electrostatic*), medan magnet (*electromagnetic*), atau regangan dari material *piezoelectric* [1].

Sejumlah penelitian dan/atau publikasi telah membahas *energy harvesting* dari sumber energi getaran menjadi energi listrik, antara lain dengan metode *piezoelectric* untuk *energy harvesting* dari getaran yang terjadi di peralatan industri [2] atau yang berkenaan dengan aktivitas manusia [3]. Disamping bahan *piezoelectric* digunakan pula bahan yang masuk kategori *magnetostrictive* untuk me-*harvest* energi dari sumber getaran [4]. Implementasi pada kendaraan militer disampaikan dalam penelitian [5], dimana dilakukan penelitian berkenaan dengan getaran yang berasal dari *chassis* dan putaran *crankshaft*.

Desain dan manufaktur generator mikro berdasar metode *electromagnetic* dibahas dalam penelitian [6], dimana analisa standarnya bisa dilihat pada [7]. Generator *electromagnetic* untuk me-*harvest* energi dari manusia yang berjalan atau berlari-lari kecil dibahas di [8]. Desain dari bandul berpemberat untuk me-*harvest* energi dari roda berputar dengan kecepatan putar yang bervariasi dikemukakan dalam [9]. Sedangkan [10] membahas tentang desain dan fabrikasi dari *power generator* untuk vibrasi *non-periodik* dengan frekuensi rendah. Penelitian parametrik dilaporkan dalam [11], yang memvariasikan jumlah lilitan dan ukuran kawat lilitan untuk me-*harvest* energi getaran. Disamping itu, pada penelitian [12] dilakukan investigasi pengaruh skala medan magnet dan parameter kumparan terhadap performa generator berbasis metode *electromagnetic*.

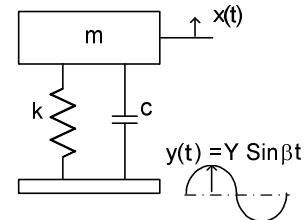
Dengan latar belakang sebagaimana dipaparkan, maka dilakukan penelitian tentang (prototipe) *VEH* metode *electromagnetic*, secara berkelanjutan. Pada penelitian ini, investigasi dititik beratkan pada panjang kumparan yang digunakan, dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh panjang kumparan dan terhadap voltase yang di-*harvest*. Sebelum itu telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh jumlah lilitan terhadap voltase yang dihasilkan [13].

## 2. Dasar Teori Mekanika Getaran

Pada Gambar 1 ditampilkan skema dari

massa  $m$ , yang menerima eksitasi berupa gerak landasan  $y(t)$ . Menurut model tersebut maka persamaan gerak dari respon massa  $x(t)$  dapat dinyatakan sebagai :

$$m\ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{y}) + k(x - y) = 0 \quad (1)$$



Gambar 1. Gerak massa dengan eksitasi berupa gerak landasan

Jika  $y(t)$  berbentuk harmonik, dengan amplitudo perpindahan sebesar  $Y$  dan frekuensi sebesar  $\beta$ , maka respon *steady-state* dari massa dapat dituliskan sebagai berikut :

$$x(t) = \frac{Y\sqrt{k^2 + (c\beta)^2}}{\sqrt{(k - m\beta^2)^2 + (c\beta)^2}} \sin(\beta t - \phi) \quad (2)$$

$$\text{dimana, } \phi = \tan^{-1} \left( \frac{mc\beta^3}{k(k - m\beta^2) - c^2\beta^2} \right) \quad (3)$$

Persamaan (2) mengindikasikan bahwa, jika eksitasi  $y(t)$  berupa gerak osilatif harmonik maka respon  $x(t)$  juga akan berbentuk getaran harmonik pula. Dalam penelitian ini, eksitasi harmonik  $y(t)$  didapat dari *disk* yang berputar secara eksentrik.

## Elektromagnet

Jika *displacement* (posisi) sebuah massa magnetik berubah dengan waktu dan massa tersebut bergerak didalam / dikelilingi oleh suatu kumparan, maka suatu medan listrik akan terbangkitkan atau terinduksikan.

Sesuai hukum Faraday, dengan medan magnet atau fluks yang bervariasi, maka pada kumparan akan timbul gaya gerak listrik (ggl) sebesar :

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} = -N \frac{d(B \cdot A)}{dt} \quad (4)$$

dimana  $B$  : kerapatan fluks

$A$  : luas penampang yang memotong  
gaya gerak listrik

$N$  : jumlah lilitan pada kumparan

$\phi$  : harga fluks yang berubah-ubah  
terhadap waktu.



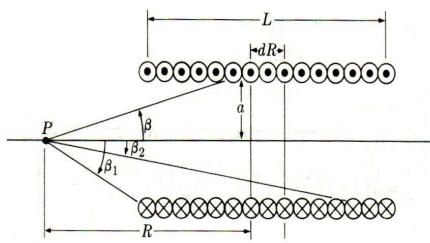
Jika kerapatan fluks dan luas penampang merupakan besaran konstan, maka persamaan (4) menjadi :

$$e = -N \cdot B \cdot A \cdot f \quad (5)$$

Persamaan (5) menyatakan bahwa besarnya energi yang dihasilkan tergantung pada jumlah lilitan, besarnya fluks magnet, luasan penampang yang memotong gaya gerak listrik, dan frekuensi gerak magnet.

### Medan Magnet Pada Rangkaian Solenoidal

Rangkaian solenoidal adalah rangkaian yang terdiri dari beberapa *loop* melingkar koaksial, dengan jari-jari yang sama dan arus yang mengalir sama juga. Jika  $L$  adalah panjang dan  $N$  jumlah lilitan, jumlah lilitan per unit panjang adalah  $N/L$  dan jumlah lilitan dipenampang sepanjang  $dR$  adalah  $(N/L)dR$ .



Gambar 2. Penghitungan medan magnet pada titik P yang terletak pada sumbu solenoid

Fluks magnetik bisa didapat dengan formula integrasi berikut :

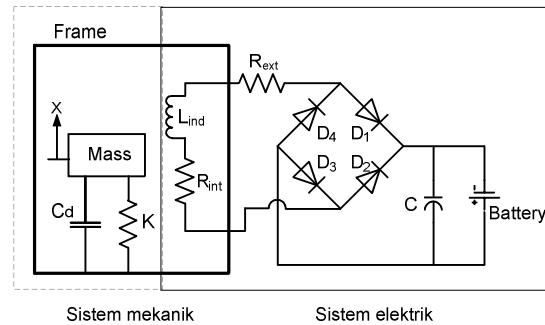
$$B = \frac{\mu_0 I N}{2L} \int_{\beta_1}^{\beta_2} \sin \beta \, d\beta = \frac{\mu_0 I N}{2L} (\cos \beta_2 - \cos \beta_1) \quad (6)$$

Persamaan (6) mengindikasikan bahwa besarnya fluks tergantung pada posisi relative titik analisa terhadap ujung kumparan. Atau, dengan perkataan lain panjang kumparan berpengaruh terhadap fluks yang dihasilkan, yang pada gilirannya akan berpengaruh terhadap energi listrik yang dihasilkan.

### Harvesting Energi Dari Getaran

Gambar 3 menunjukkan skema dasar tentang *harvesting* energi dari getaran, dimana bagian utamanya terdiri atas sistem mekanik dan sistem elektrik. Pada bagian mekanik terdapat massa magnetik yang bergerak osilatif secara periodik, mengikuti / sesuai dengan amplitudo dan frekuensi

gerak yang ditentukan. Sedangkan pada bagian elektrik terdapat lilitan kawat konduktif yang membentuk kumparan yang secara fisik dibuat mengelilingi gerak massa. Gerak massa didalam kumparan akan menimbulkan pergerakan elektron pada kawat konduktor, dan dengan demikian terinduksilah arus listrik pada kumparan. Dengan kata lain, gerak getar dari massa bisa menjadi sumber bagi terjadinya energi listrik.



Gambar 3. Skema hubungan sistem mekanik dan elektrik

Arus listrik yang terjadi pada kumparan berupa arus  $AC$  yang masih fluktuatif. Arus listrik tersebut kemudian dialirkan lewat 4 buah dioda yang disusun dalam bentuk jembatan (*bridge*), dengan tujuan untuk menyearahkan arus. Luaran dari jembatan dioda berupa arus listrik  $DC$ , dan dengan demikian bisa disimpan pada sebuah *battery*. Fungsi dari *capasitor* pada bagian elektrik adalah untuk 'menghaluskan' arus, dan sebagai penyimpan sementara arus. Dengan demikian arus yang dikirim ke *battery* berupa arus searah yang tidak bergelombang. Selanjutnya, oleh *battery* energi listrik yang 'tertangkap' (dari getaran massa) dapat dialirkan ke beban yang memerlukan.

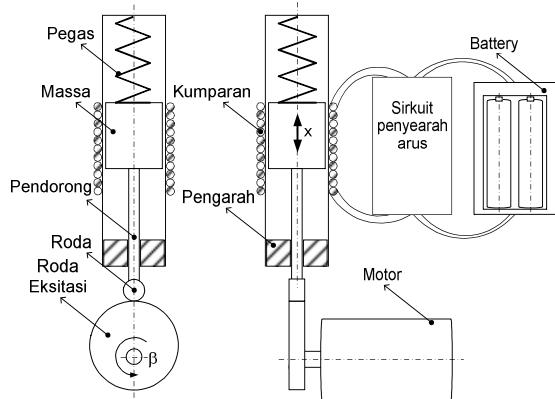
### 3. Metodologi

Mekanisme *VEH* adalah mekanisme yang dari operasinya dapat diperoleh energi listrik sebagai perwujudan dari *energy harvesting* terhadap sumber energi getaran. Untuk setiap operasi mekanisme *VEH* diukur besarnya voltase yang dihasilkan, sehingga dapat diketahui voltase yang bisa di-*harvest*.

Secara skematis, rancangan dari prototipe mekanisme *vibration energy harvesting* dengan menggunakan metode *electromagnetic* untuk sumber getaran translatif-harmonik, adalah



sebagaimana ditunjukkan oleh gambar berikut.



Gambar 4. Skema mekanisme *VEH* metode *electromagnetic*

Dalam garis besarnya, cara kerja mekanisme *vibration energy harvesting* yang dirancang adalah sebagai berikut:

Osilasi translatif didapat dari tuas pendorong yang terhubungkan dengan sebuah *disk* eksentrik yang diputar oleh sebuah motor *DC*. Ujung yang lainnya dari tuas pendorong terhubungkan dengan sebuah massa. Dengan mekanisme sebagaimana disebutkan, massa akan bergerak bolak-balik secara harmonik. Pegas yang ada dimaksudkan untuk memastikan bahwa roda tuas selalu dalam kondisi kontak dengan permukaan *disk* eksentrik. Gerak linier dari massa tersebut merupakan emulasi getaran yang akan *di-harvest* energinya, dimana massa magnetik bergerak secara osilatif dalam suatu kumparan yang terbuat dari kawat konduktif. Pada gilirannya, akibat gerak massa yang bolak-balik dalam suatu medan magnet, arus listrik akan terjadi pada kumparan. Selanjutnya, arus listrik yang mengalir bisa ditampung pada alat penyimpan energi berupa *battery*. Dalam hal ini, tenaga listrik yang didapat merupakan perwujudan dari energi yang bisa *di-harvest* dari getaran yang terjadi.



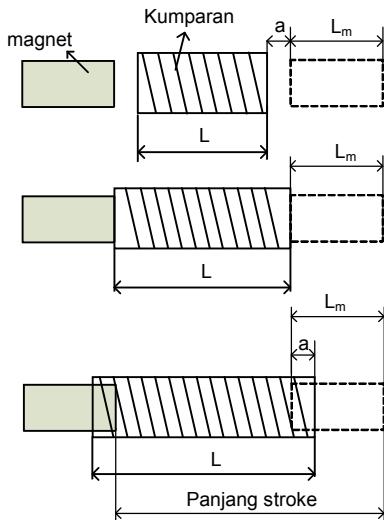
Gambar 5. Foto mekanisme *VEH* metode *electromagnetic*

Prototipe dari mekanisme *VEH* adalah seperti terlihat pada Gambar 5. Bagian utama dari mekanisme ini adalah massa magnetik dan kumparan. Massa magnetik yang digunakan sebesar 0,0132 kg (diameter 15 mm dan panjang 12 mm). Kumparan terbuat dari 2000 lilitan yang terdiri dari beberapa lapis kawat konduktor berdiameter 0,1 mm, dimana diameter dalam kumparan adalah 18 mm. Untuk mekanisme *VEH* yang 'workable' dilakukan eksperimen dengan panjang langkah (*stroke*) tuas pendorong sebesar 30 mm (amplitudo getaran 15 mm). Sedangkan frekuensi gerak osilatif adalah sesuai dengan putaran motor penggerak roda eksitasi yang beroperasi pada 800 rpm.

Pada penelitian ini dilakukan variasi terhadap panjang kumparan, dengan tujuan utama adalah untuk mengetahui pengaruh panjang kumparan (dengan jumlah lilitan yang tetap) terhadap energi yang bisa *di-harvest* dari mekanisme *VEH*. Panjang kumparan yang diuji adalah  $L_1 = 12$  mm,  $L_2 = 15$  mm,  $L_3 = 18$  mm,  $L_4 = 21$  mm dan  $L_5 = 24$  mm. Secara visual hubungan antara panjang kumparan dan gerak bolak-balik massa magnetik (*stroke* tetap) dapat dilihat pada Gambar 6. Untuk panjang kumparan  $L_1$  dan  $L_2$  perpindahan massa bisa berada diluar lingkup kumparan sampai sejauh  $a$  mm. Untuk panjang kumparan  $L_3$ , perpindahan maksimum massa berada di ujung kumparan. Untuk panjang kumparan  $L_4$  dan  $L_5$ , gerak massa berada didalam (terlingkup) kumparan, dimana



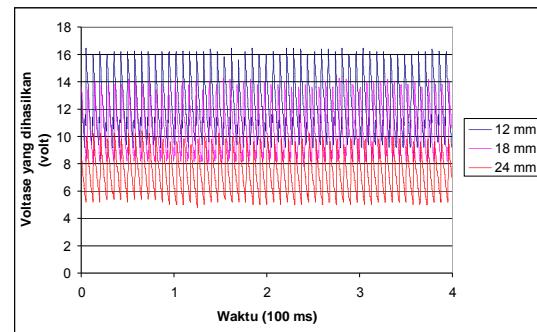
untuk perpindahan maksimum bagian massa yang terlingkupi kumparan adalah sebesar  $a$  mm.



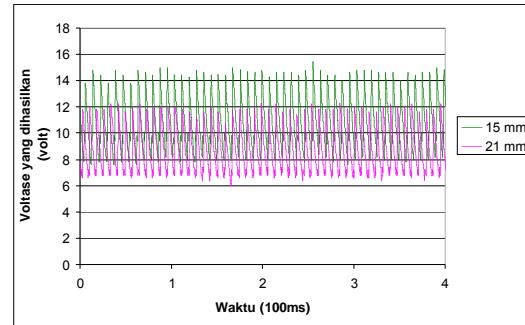
Gambar 6. Skema gerakan massa magnetik terhadap kumparan pada mekanisme

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Hasil eksperimen diwujudkan dalam bentuk grafik voltase yang dihasilkan oleh mekanisme *VEH*, yang dicatat oleh sebuah osiloskop. Gambar 7 menunjukkan grafik voltase untuk panjang kumparan 12 mm, 18 mm, dan 24 mm. Grafik voltase untuk panjang kumparan 15 mm dan 21 mm ditunjukkan oleh Gambar 8. Untuk panjang kumparan 12 mm, 18 mm dan 24 mm, nilai *rms* dari voltase yang dihasilkan secara berturut-turut adalah 11,64 volt, 9,76 volt dan 6,95 volt. Sedangkan untuk panjang kumparan 15 mm dan 21 mm, nilai *rms* dari voltase yang dihasilkan adalah 10,70 volt dan 8,35 volt. Kedua gambar mengindikasikan bahwa selisih antara nilai maksimum dengan nilai minimum voltase (rentang voltase) adalah relative sama. Dari eksperimen yang dilakukan, terlihat bahwa panjang kumparan berpengaruh terhadap voltase yang dihasilkan oleh mekanisme *VEH*. Dari grafik voltase (nilai *rms* voltase) terindikasikan bahwa dengan bertambahnya ukuran panjang kumparan, voltase yang dihasilkan semakin kecil.



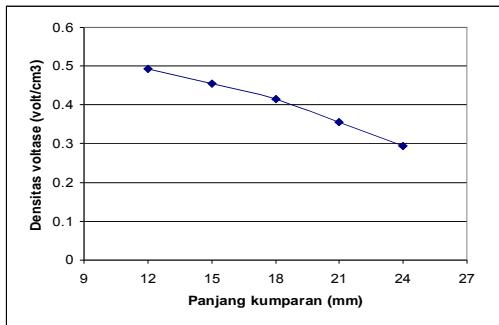
Gambar 7. Voltase untuk panjang kumparan 12 mm, 18 mm dan 24 mm



Gambar 8. Voltase untuk panjang kumparan 15 mm dan 21 mm

Dengan memperhatikan ukuran mekanisme *VEH*, yang terukur mempunyai panjang 75 mm dan diameter maksimum 20 mm, penelitian menunjukkan bahwa densitas voltase yang dihasilkan oleh mekanisme *VEH* secara berturut-turut, adalah  $0,494 \text{ volt/cm}^3$ ,  $0,454 \text{ volt/cm}^3$ ,  $0,414 \text{ volt/cm}^3$ ,  $0,355 \text{ volt/cm}^3$  dan  $0,295 \text{ volt/cm}^3$ , untuk panjang kumparan 12 mm, 15 mm, 18 mm, 21 mm dan 24 mm.





Gambar 9. Voltase yang diperoleh dari mekanisme *VEH*

Gambar 9 menunjukkan hubungan antara panjang kumparan dengan densitas voltase. Hasil yang didapat mengindikasikan bahwa dengan bertambahnya panjang kumparan, densitas voltase yang dihasilkan oleh mekanisme *VEH* semakin menurun. Hal ini disebabkan karena pada kumparan yang panjang, dengan jumlah lilitan (panjang / bentangan linier kawat konduktif) tetap, perubahan medan magnet tidak digunakan secara maksimal untuk menggerakkan elektron-elektron menjadi arus listrik.

## 5. Konklusi

Pada penelitian yang dilaporkan telah dilakukan analisa pengaruh variasi panjang kumparan terhadap voltase yang dihasilkan oleh mekanisme *Vibration Energy Harvesting*. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa panjang kumparan yang secara geometris pendek (dengan jumlah lilitan tertentu / konstan) akan memaksimalkan voltase yang dapat di-*harvest* oleh mekanisme *VEH* metode *electromagnetic*.

## Daftar Pustaka

- [1] Torres, Erick O., *Energy-Harvesting Chips and the Quest for Everlasting Life*, Power Management Design Line, Texas Instruments, Houston, 2005
- [2] Nuffer, Jurgen, and T. Bein, *Application of Piezoelectric Materials in Transportation Industry*, Proc. Symposium on Innovative Solutions for Advancement of Transport Industry, San Sebastian, Spain, 2006
- [3] Kymissis, John, C. Kendall, J. Paradiso, and N. Gershenfeld, *Parasitic Power Harvesting in Shoes*, Proc. 2<sup>nd</sup> Intl. Symposium on Wearable Computing, Pittsburgh, PA, 2008
- [4] Wang, Lei, and F.G. Yuan, *Energy Harvesting by Magnetostriuctive Material (MsM) for Powering Wireless Sensors in SHM*, Dept. of Mech. and Aerospace Eng., North Carolina State Univ., Raleigh, NC, 2007
- [5] Daqaq, Moh. F., J. Wagner, M. Letherwood, and C. Stabler, *Supplemental Vehicle Power through Innovative Energy Harvesting*, Automotive Research Center, Ann Arbor, MI, 2009
- [6] Pan, C.T., and T.T. Wu, *Development of Rotary Electromagnetic Microgenerator*, J. of Micromechanics and Microengineering (UK), vol. 17, 120-128, 2007
- [7] Beeby, Steve P., M.J. Tudor, R.N. Torah, E. Koukharenko, S. Roberts, T. O'Donnell, and S. Roy, *Macro and Micro Scale Electromagnetic Kinetic Energy Harvesting Generators, Design, Test, Integration & Packaging of MEMS & MOEMS*, Stresa, Italy, 2006
- [8] Saha, C.R., T. O'Donnell, N. Wang, and P. McCloskey, *Electromagnetic Generator for Harvesting Energy from Human Motion*, Sensors and Actuators A 147, 248-253, 2008
- [9] Wang, Yu-Jen, C-D. Chen, and C-K. Sung, *Design of a Frequency-Adjusting Device for Harvesting Energy from a Rotating Wheel*, Sensors and Actuators A 159, 196-203, 2010
- [10] Galchev, Tzeno, H. Kim, and K. Najafi, *A Parametric Frequency Increased Power Generator for Scavenging Low Frequency Ambient Vibrations*, Procedia Chemistry I, 1439-1442, 2009
- [11] Beeby, Steve P., M.J. Tudor, R.N. Torah, E. Koukharenko, S. Roberts, T. O'Donnell, and S. Roy, *A Microelectronic Generator for Vibration Energy Harvesting*, J. Micromechanics and Microengineering (UK), vol. 17, 1257-1265, 2007
- [12] O'Donnell, Terence, C. Saha, S.P. Beeby, and M.J. Tudor, *Scaling Effects for Electromagnetic Vibration Power Generator*, Design, Test, Integration & Packaging of MEMS & MOEMS, Stresa, Italy, 2006
- [13] Hendrowati, Wiwiek, B. Daryanto W., and N. Sutantra, *On the Development of a Vibration Energy Harvesting Mechanism and the Influence of the Number of Wire Turns*, submitted to J. IPTEKS ITS, Surabaya, 2010

