

Desain Cantilever Beam Piezoelectric Untuk Aplikasi Energi Harvesting

Roer Eka Pawinanto, Ahmad Shumarudin
Jurusan Teknik Informatika, Politeknik Negeri Indramayu, Indonesia
Email: shumaru@polindra.ac.id

Abstrak – Material piezoelektrik sudah mulai diaplikasikan dalam beberapa aplikasi seperti sebagai transduser untuk energi harvesting. Dalam studi ini kami menggunakan metode FEA untuk mengoptimasi beam piezoelektrik. Defleksi yang diperoleh pada studi ini yaitu sebesar 83 nm manakala frekuensi resonansi nya diperoleh di 13.4 Hz. Material piezoelektrik ini dapat menghasilkan defleksi yang besar ketika bergetar pada frekuensi resonansinya. Hasil optimisasi juga menunjukkan bahwa daya listrik yang dihasilkan mengindikasikan resistansi yang besar juga dan berkaitan dengan panjang material PZT serta dapat mempengaruhi defleksi dari cantilever beam.

Kata kunci : Cantilever, piezoelectric, energi harvesting, finite element method

Abstract – Piezoelectric has come out to be applied in a number of applications such as energy harvesting transducers. In this study, we applied finite element method (FEM) to optimize the piezoelectric cantilever beam. The deflection of 83 nm is obtained while the resonant frequency at 13.4 Hz. The large deflection of piezoelectric (PZT) material can be achieved when it vibrates at its resonance frequency. The result also showed that optimization of electrical power generated indicate large resistance and relates to the length of the PZT material can affect deflection of the cantilever beam.

Keywords: Cantilever, piezoelectric, energi harvesting, finite element method.

I. PENDAHULUAN

Cantilever sekarang ini menjadi hal menarik untuk dipelajari dan dikembangkan. Hal ini dikarenakan banyaknya aplikasi yang dapat diterapkan dengan menggunakan cantilever seperti aktuator, sensor dan energi harvesting. Dalam hal energi harvesting, sekarang ini masih bertumpu pada device yang bisa portable dan kedepannya akan menjadi kecil tetapi ukuran baterai masih sama yaitu masih dalam skala centimeter tetapi dengan power yang kecil. Diharapkan kedepan ukuran baterai dapat menjadi lebih kecil tetapi memiliki power yang besar sehingga memungkinkan digunakan oleh device yang bergerak/portable.

Alternatif dari penyelesaian masalah di atas adalah dengan merancang baterai atau divais energi harvesting dari material piezoelektrik (PZT). Material ini banyak digunakan sebagai transduser untuk mengkonversi energi listrik menjadi energi gerak [1].

Umeda [2] merupakan salah satu diantara peneliti awal yang menggagas generator PZT dan mengusulkan model persamaan elektrik yang dikonversi dari energi mekanik ke energi listrik. Roundt [3-5] menggunakan sedikit pendekatan pada persamaan rangkaian listrik untuk menjabarkan PZT dan diikuti oleh hasil yang juga dapat diterima dan logis. Namun, analisisnya hanya mendapat hasil 1 hingga 10 m/s^2 kondisi vibrasi.

Eggborn [6] membangun model analitik untuk memprediksi energi harvesting dari cantilever beam menggunakan teori beam-Bernoulli dan dibandingkan dengan hasil eksperimennya.

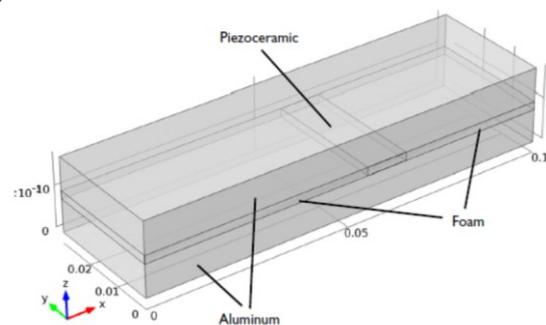
II. DESAIN BEAM CANTILEVER

Persamaan linier untuk material piezoelektrik [7] sudah pernah dijelaskan termasuk ada di dalamnya variable koefisien e_{31} , konstanta dielektrik ϵ_{33} dan medan listrik yang dipengaruhi oleh tebal lapisan E_z , seperti persamaan 1.

$$D_z = e_{31}e_x + \epsilon_{33}E_z \quad (1)$$

Tegangan σ pada arah z diasumsikan nol. Hal ini terjadi ketika tebal lapisan piezoelektrik berbanding dengan panjang beam yang sangat tipis.

Untuk merancang beam cantilever dan menganalisisnya kami menggunakan metoda finite element analysis (FEA). Pada gambar 1 terlihat desain 3 dimensi beam piezoelektrik yang terdiri dari bagian foam, aluminium dan piezoceramic. Bagian fixed constraint merupakan bagian statis dari beam tersebut.



Gambar 1. Desain 3 dimensi beam piezoelektrik

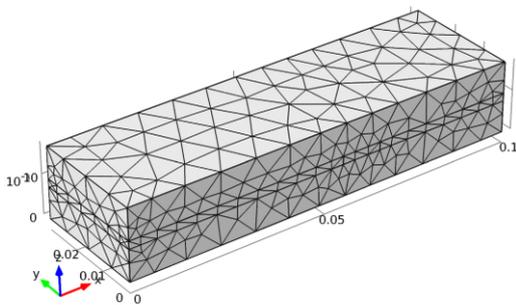
Kondisi batas (boundary condition) pada desain ini yaitu di modul “structural mechanics”, beam cantilever dibuat static di $x=0$ sedangkan sisi lainnya dibuat bebas. Selain itu, untuk komponen elektrostatisnya yaitu dibatasi dengan mengalirkan tegangan 20 V beda potensial diantara bagian atas dan bawah lapisan pada domain piezoceramic. Hal ini dapat membangkitkan medan listrik yang tegak lurus dengan arah x .

Material properties yang digunakan pada studi ini terlihat pada Tabel 1. Aluminium ada pada menu “predefined material”, sedangkan untuk material foam harus diinput secara manual karena belum tersedianya data pada perangkat ini. Material piezoceramic PZT-5H ada pada modul MEMS. Sedangkan untuk nilai variable lain yang diperlukan dalam studi ini seperti elastisitas matrix, matriks kopling piezoelektrik, e , atau permitivitas matrix relative.

TABEL 1. PROPERTIES MATERIAL YANG DIGUNAKAN

Property	Aluminium	Foam	Piezoceramic
E	70 GPa	35.3 MPa	-
ν	0.35	0.383	-
ρ	2700 kg/m ³	32 kg/m ³	7500 kg/m ³

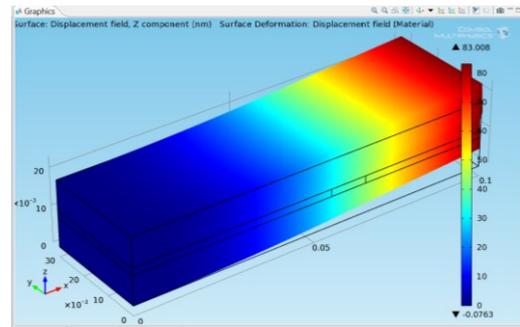
Untuk bagian meshing pada studi ini digunakan bentuk *free tetrahedral* seperti ditunjukkan pada gambar 2. Meshing ini sangat penting dalam FEA karena dalam step ini, model yang kita optimasi akan dibagi-bagikan dalam banyak komponen, sehingga dalam proses FEA ini nantinya akan di”combine” hasil dari komoponen satu dengan yang lain dan mendapat hasil akhir. Dalam studi ini digunakan mesh dengan ukuran “predefined normal” untuk mengurangi waktu kalkulasi dan keterbatasan spesifikasi komputer yang digunakan.



Gambar 2. Bentuk meshing pada beam cantilever

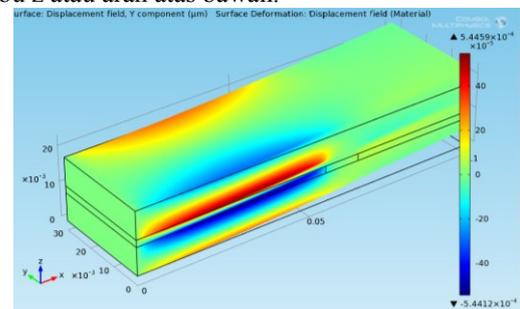
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Deformasi atau lengkungan (bending) lapisan piezoceramic dan lapisan fleksibel foam pada sumbu z ditunjukkan pada Gambar 3. Pada studi ini, defleksi yang diperoleh adalah sebesar 83 nm. Untuk menghasilkan daya listrik yang optimum, element piezoelektrik harus bergetar pada frekuensi naturalnya di mana jika terjadi maka akan menghasilkan defleksi yang besar. Dalam studi ini, beam cantilever frekuensi nya terdapat pada 13.4 Hz.

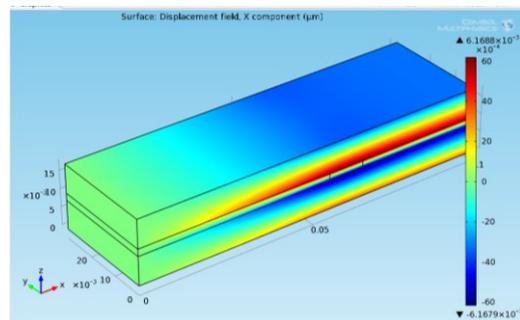


Gambar 3. Defleksi beam cantilever pada $x=60 \mu\text{m}$

Walaupun ketika fase defleksi yang berpengaruh besar adalah arah z , namun pada prinsipnya divais bergerak ke segala arah. Terlihat pada gambar 4 dan 5 yang masing-masing hasil dari defleksi cantilever beam material piezoelektrik. Defleksi pada sumbu x dihasilkan sebesar 6.17 nm sedangkan defleksi pada sumbu y adalah 0.55 nm. Oleh karena itu, dapat dibuktikan secara simulasi bahwa cantilever beam pada saat defleksi bergetar ke segala arah. Namun, arah defleksi terbesar tetap pada sumbu z atau arah atas bawah.

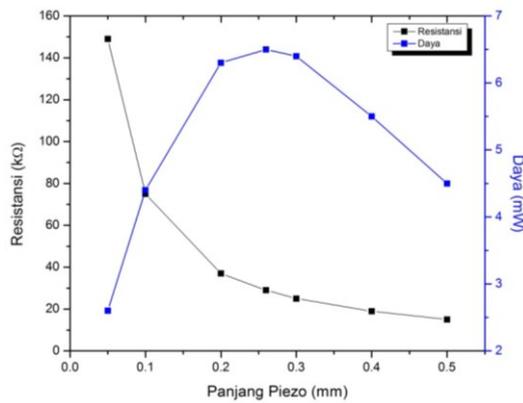


Gambar 4. Defleksi cantilever beam pada sumbu y



Gambar 5. Defleksi cantilever beam pada sumbu x

Hasil beda potensial pada studi ini terlihat pada gambar 6. Beda potensial maksimum yang dihasilkan adalah 20 Volt. Setelah dioptimasi dengan FEA, maksimum daya yang didapat adalah 6.5 mW dengan panjang PZT $L_p=0.26$ m sedangkan resistansi pada studi ini cenderung menurun ketika panjang material piezoelectrics bertambah. Pada gambar 4 terlihat hasil dari optimasi beam cantilever.



Gambar 6. Hasil optimasi dan relasi panjang material PZT, resistansi dan daya

Untuk hasil optimum didapat ketika panjang material piezoelektrik yaitu 0.26 mm dan didapat resistansi sebesar 29 kΩ. Namun hal ini tidak mudah untuk mengimplementasikan panjang material piezoelektrik sebesar ini karena akan merubah karakteristik beam cantilever secara keseluruhan termasuk efek kepada cross section, modulus Young's dan frekuensi. Maka dari itu akan berdampak dan berpengaruh pada menurunnya defleksi beam cantilever, ketegangan (strain) material piezo dan daya [6].

IV. KESIMPULAN

Desain dan pemodelan beam piezoelektrik telah dilakukan dengan menggunakan metoda FEM. Dari hasil

yang didapat data disimpulkan bahwa material piezoelektrik ini dapat menghasilkan defleksi yang besar ketika bergetar pada frekuensi resonansinya. Hasil optimisasi juga menunjukkan bahwa daya listrik yang dihasilkan mengindikasikan resistansi yang besar juga dan berkaitan dengan panjang material PZT serta dapat mempengaruhi defleksi dari beam cantilever.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Ajitsaria, S.Y. Choe, D. Shen, D.J. Kim, "Modeling and analysis of a bimorph piezoelectric cantilever beam for voltage generation," *Smart Materials and Structures*, Vol.16, pp.447-454, 2007.
- [2] M. Umeda, K. Nakamura, and S. Ueha, "Analysis of the transformation of mechanical impact energy to electric energy using piezoelectric vibrator," *Japan J. Appl. Phys.*, Vol. 35, pp. 3267-3273, 1996.
- [3] S. Roundy, P. K. Wright, "A piezoelectric vibration based generator for wireless electronics, *Smart Mater. Struct.*, Vol.13, pp.1131-1142, 2004.
- [4] S. Roundy, "On the effectiveness of vibration-based energy harvesting," *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, Vol. 16, pp.809-823, 2005.
- [5] S. Roundy, E. S. Leland, J. Baker, E. Carleton, E. Reilly, E. Lai, B. Otis, J. M. Rabaey, P. K. Wright, and V. Sundararajan, "Improving power output for vibrationbased energy scavengers," *IEEE Trans. Pervasive Comput.*, Vol. 4, pp. 28-36, 2005.
- [6] T. Eggborn, "Analytical models to predict power harvesting with piezoelectric materials," *Dissertação de Mestrado - Virginia Polytechnic Institute and State University*, 2003.
- [7] F. Lu, H. P. Lee, S. P. Lim, "Modeling and analysis of micro piezoelectric power generators for microelectromechanical-systems applications," *Smart Materials and Structures*, Vol.13, pp. 57-63, 2004.