F. Eko Wismo Winarto

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Gadjah Mada
Departemen Teknik Mesin SV
felix_eko@ugm.ac.id

Sugiyanto

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Gadjah Mada
Departemen Teknik Mesin SV
Sugiyanto_t@ugm.ac.id

Soeadgihardo Siswanto

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Gadjah Mada
Departemen Teknik Mesin SV
soeadgihardo@ugm.ac.id

Isworo Djati

Tenaga Kependidikan (PLP)
Universitas Gadjah Mada
Departemen Teknik Mesin SV
isworodjati@ugm.ac.id

TURBIN HIBRID *BI-DIRECTIONAL* SEBAGAI PEMANEN ENERGI PADA *THERMOACOUSTIC ENGINE*

Bi-directional turbines that are commonly applied to convert wave energy into motion energy are the types of Impulse turbines and Wells turbines. Both types of turbines each have advantages and disadvantages. In this research, hybrid turbine type is designed and made to bridge the weaknesses in impulse turbine and turbine wells. Hybrid turbines are made by placing impulse turbines on the outside while turbine wells placed on the inside. In this research, the variation of hybrid bi-directional turbine design aims to find out the most optimal design of this turbine type. Six variations were carried out including a hub to tip ratio of 0.5 with 4 and 5 Wells blades, a hub to tip ratio of 0.6 with 4 and 5 Wells blades and a hub to tip ratio of 0.7 with 4 and 5 Wells blades. From the test results on thermoacoustic engine media, based on the hub to tip ratio, the most optimal hub to tip ratio is in the order of 0.7 then 0.6 and 0.5. Whereas based on the number of Wells blade, obtained the number of Wells blade 5 is more optimal than the number of Wells blade 4.

Keywords : *Bi-Directional Turbine, Hybrid Turbine, Wave Energy, Thermoacoustic Engine.*

1. PENDAHULUAN

Salah satu teknologi yang dapat memanfaatkan sumber panas baik dari limbah panas maupun EBT secara langsung sebagai sumber energi untuk dikonversi menjadi energi mekanik dan energi listrik adalah teknologi thermoakustik. Teknologi ini sudah termasuk jajaran metode untuk mengkonversi panas menjadi energi listrik [1], bahkan [2] sudah melakukan kajian pengembangan *thermo acoustic converter* (TAC) sebagai micro-CHP (*combined heat and power*). Thermoakustik mempelajari konversi energi panas menjadi energi suara dan sebaliknya [3]. Efek *thermoakustik* adalah proses konversi energi panas menjadi daya akustik.. Energi suara yang diproduksi tersebut dapat digunakan sebagai pembangkit listrik, refrigerator (pendingin) maupun heat pump (pompa kalor) [4]. Kelebihan dari mesin ini yaitu tidak adanya komponen yang bergerak, kemudahan dalam konstruksi, bebas perawatan, ramah lingkungan, dan dimungkinkannya memanfaatkan limbah panas [5]. Teknologi thermoakustik yang menghasilkan energi suara disebabkan oleh beda temperatur disebut sebagai *thermoacoustic engine* sedangkan energi suara sebagai sumber untuk menghasilkan beda temperatur disebut sebagai *thermoacoustic refrigerator*/heat pump [6]. Keunggulan TAE adalah relatif memiliki sedikit komponen, tidak terdapat komponen bergerak, dan tidak membutuhkan refrigeran atau bahan kimia yang berbahaya. Udara dapat digunakan sebagai fluida kerja yang mana sangat ramah terhadap lingkungan [7]. Biaya fabrikasi dan perawatan yang relatif rendah dikarenakan peralatannya yang sangat sederhana dan banyak tersedia di pasaran komersil.

Pemanfaatan teknologi thermoakustik terutama TAE yaitu energi bunyi yang dapat dikonversi menjadi energi mekanik atau energi listrik. Pergerakan energi bunyi yang bolak-balik membutuhkan mesin yang tepat untuk pemanfaatannya. Secara umum, mesin yang digunakan untuk mengkonversi energi bunyi menjadi energi listrik menggunakan alternator linear [8-10]. Namun alternator linear ini merupakan komponen yang masih mahal pada suatu sistem thermoakustik [11]. Salah satu perangkat yang dapat digunakan untuk konversi energi bunyi menjadi energi mekanik dan energi listrik yaitu turbin *bi-directional*. Prinsip dasar yang digunakan dalam aplikasi turbin ini pada thermoakustik adalah meniru sistem kerja pada mekanisme OWC (*oscillating water column*). Turbin *bi-directional* menggunakan gerak rotasi untuk mengonversi daya akustik menjadi listrik melalui sebuah generator. *Bi-directional turbine* yang dapat diaplikasikan pada TAE

terdiri dari dua jenis, yaitu *impuls turbine* dan *wells turbine* [12]. Turbin Wells adalah turbin reaksi aliran aksial yang khusus digunakan untuk ekstraksi energy gelombang dengan bantuan osilasi aliran udara. Turbin Wells bekerja berdasar teori umum aerodinamis dari airfoil [13]. Penggunaan airfoil sebagai bagian dari turbin sangat banyak aplikasinya, [14] menggunakan airfoil NACA 0015 untuk turbin ventilator. Suatu turbin impuls dapat menjadi turbin *Bi-directional* dengan menggunakan *guide vane* pada kedua sisi rotor. Aliran udara yang dibelokkan oleh *guide vane* menabrak sudu rotor dan memberikan “impuls” pada turbin. Simetrisnya *guide vane* dengan sudu rotor menyebabkan turbin selalu berputar dengan arah yang sama yang tidak terpengaruh aliran udara datang [15].

Turbin hibrid dibuat dengan tujuan untuk menghilangkan karakteristik yang merupakan kekurangan dari masing-masing turbin. Karakteristik khusus yang ingin dihilangkan ada dua, yaitu starting yang buruk yang merupakan karakteristik turbin *Wells* dan output yang rendah ketika berada dalam udara berkecepatan tinggi untuk *Impulse turbine*. Sehingga diharapkan hasil dari turbin Hybrid ini adalah starting yang bagus, dikarenakan adanya *Impulse turbine*, dan kecepatan yang tinggi ketika berputar pada udara yang berkecepatan tinggi.

Gambar 2 Sistem TAE dengan komponen-komponen utama.

Pengujian ini menggunakan mesin thermoakustik tipe gelombang longitudinal (*Standing Wave Thermoacoustic Engine*, SWTE), SWTE ini terdiri dari *stack* yang disisipkan diantara dua penukar panas (*hot* dan *cold heat exchanger*). Komponen ini diletakkan di salah satu ujung sistem yang dibatasi oleh ruangan tertutup, disebut sebagai *bounce space*. Komponen-komponen utama SWTE disajikan dalam Gambar 2. Gambar 3 menunjukkan assembling SWTE sebagai alat uji eksperimen.

Gambar 3 Tipe SWTE sebagai alat uji eksperimen

2.2. Turbin Hibrid

Turbin hibrid yang digunakan merupakan gabungan antara turbin Wells dan turbin Impulse, dapat dilihat pada Gambar 4. Tipe profil airfoils dari Wells turbine yang digunakan adalah tipe NACA0021 sedangkan pada Impulse turbine menggunakan sudut inlet 60° dengan jumlah blade 30 buah.

Gambar 4. Turbin hibrid 3D Printing

2.3. Prosedur Pengujian

2.3.1. Pengujian mesin thermoakustik

Pengujian *thermoacoustic engine* untuk mendapatkan daya akustik menggunakan seperangkat alat yang terdiri dari sebuah komputer, *pressure transducer*, data *acquisition NI-DAQmx module* NI 9234 dan termokopel tipe-K. Komputer digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran termokopel dan *pressure transducer* secara *real time* dengan software LabView2016. Skema pegujian ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5. Skema alat pengambilan data daya akustik

Keterangan gambar T1 = Hot exchanger
T2 = Cold exchanger

PT1 = Pressure Transducer 1
PT2 = Pressure Transducer 2

2.3.1. Pengujian turbin hibrid pada mesin thermoakustik

1. Pemasangan rangkaian *housing*, *shaft* dan *turbine*

Gambar 6. Rangkaian Assembly *housing*, *shaft* dan *turbine*

2. Persiapan rangkaian sistem *thermoacoustic*, Rangkaian Assembly *housing*, *shaft* dan *turbine* dipasangkan kedalam tabung akustik.

Gambar 7. Persiapan sistem *Thermoacoustic engine* (TAE)

3. Turbin diletakkan di dalam *resonator*, posisi pertama pada jarak 35 cm dari resonator, dan berikutnya variasi jarak dilakukan setiap 5 cm menjauhi resonator. Setelah *turbine* berputar, dilakukan pengukuran

kecepatan putar *turbine* menggunakan *Tachometer*. Proses pengambilan data kecepatan turbin ditunjukkan pada Gambar 8.

Gambar 7. Pengukuran putaran turbin pada TAE.

3. HASIL DAN DISKUSI

Daya akustik digunakan untuk mengetahui kinerja alat, dalam hal ini *Thermoacoustic Engine*. Pengambilan data dilakukan dengan metode dua sensor (PA dan PB) yang nantinya digunakan untuk menghitung intensitas akustik (I). Metode dua sensor [16] dapat digunakan untuk mengestimasi intensitas akustik diantara sensor PA dan PB dengan mengetahui jarak antara keduanya. Dua buah *pressure transducer* merekam amplitudo tekanan. Kemudian dilakukan penghitungan untuk memperoleh intensitas akustik (I) menggunakan aplikasi Matlab. Hasil eksperimen didapatkan mendapatkan nilai intensitas akustik sebesar $20,9474 \text{ kW/m}^2$ dan daya akustik sebesar $45,3114 \text{ watt}$.

Pengujian turbin hybrid dilakukan untuk enam jenis turbin berdasarkan variasi-variasi yang digunakan, yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Gambar 8. Variasi *Hybrid Bi-directional turbine*

Hasil pengujian putaran turbin pada Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian untuk turbin dengan jumlah sudu 4 pada sisi turbin *Wells*.

Gambar 9. Pengujian *Hybrid turbine* dengan 4 *Wells Blade*

Berdasarkan Gambar 9 didapat *turbine E* dengan *hub to tip ratio* 0,7 memiliki kecepatan putar paling tinggi diantara kedua *turbine* lainnya. Kecepatan putar tertinggi kedua yaitu *turbine C* dengan *hub to tip ratio* 0,6. Sedangkan kecepatan putar terendah yaitu pada *turbine A* dengan *hub to tip ratio* 0,5. Sehingga pada pengujian *Hybrid turbine* dengan 4 buah *Wells blade*, didapat *hub to tip ratio* paling optimal yaitu *hub to tip ratio* 0,7.

Gambar 10. Pengujian *Hybrid turbine* dengan 5 *Wells Blade*

Hasil pengujian (Gambar10) diperoleh kecepatan putar untuk jumlah sudu pada sisi turbin Wells 5, didapat *turbine F* dengan *hub to tip ratio* 0,7 paling tinggi diantara kedua *turbine* lainnya. Hal ini sama dengan hasil pengujian dengan 4 *Wells Blade*. Kecepatan putar tertinggi kedua yaitu *turbine D* dengan *hub to tip ratio* 0,6. Sedangkan kecepatan putar terendah yaitu pada *turbine B* dengan *hub to tip ratio* 0,5. Sehingga pada pengujian *Hybrid turbine* dengan 5 buah *Wells blade*, didapat *hub to tip ratio* paling optimal yaitu *hub to tip ratio* 0,7. Turbin dengan *hub to tip ratio* 0,7 memiliki luasan padat yang lebih besar dibandingkan tipe turbin yang lain dalam penelitian ini. Di saat gelombang suara mengenai suatu permukaan, maka gelombang suara dapat dipantulkan, ditransmisikan, atau diserap tergantung dari besarnya impedan media yang dilalui. Jika impedansi antara kedua media tersebut berbeda, maka beberapa energi akan dipantulkan kembali ke media pertama [17]. Impedan turbin yang terbuat dari plastik PLA jauh lebih tinggi dibandingkan impedan udara, sehingga dalam hal turbin yang luasan padat lebih tinggi, maka gelombang akustik sebagian besar gelombang suara dipantulkan kembali ke dalam resonator sehingga menyebabkan kecepatan efektif penggerak turbin *bi-directional* juga lebih tinggi.

Kedua data hasil pengujian didapatkan kesamaan, yaitu kecepatan putar tertinggi berturut-turut dari *turbine* dengan *hub to tip ratio* $0,7 > 0,6 > 0,5$ pada ketiga variasi jumlah *Wells blade*. Sehingga dapat disimpulkan, *turbine* dengan *hub to tip ratio* 0,7 memiliki kecepatan putar yang paling optimal dibandingkan dengan *turbine* dengan *hub to tip ratio* 0,6 dan 0, 5.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan mengenai perancangan dan pembuatan *Bi-directional turbine* tipe *Hybrid* serta pengujiannya, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil pengujian turbin hibrid didapatkan nilai *hub to tip ratio* yang paling optimal yaitu pada 0,7.
2. Jumlah sudu sisi turbin *Wells* yang paling optimal yaitu pada jumlah sudu 5, sehingga semakin banyak *Wells blade* pada turbin hibrid, maka kecepatan putar yang dihasilkan semakin besar.

5. PERNYATAAN TERIMA KASIH

Riset ini sebagian dibayai oleh hibah internal Departemen Teknik Mesin SV UGM tahun 2019

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] EPOS, “Waste Heat - Heat to electricity techniques,” 2019.
- [2] ETALIM Inc., “NRCan ecoENERGY Innovation Initiative Stakeholder Report,” 2014.
- [3] H. BABAEI and K. SIDDIQUI, “Design and optimization of thermoacoustic devices,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 49, no. 12, pp. 3585–3598, 2008.
- [4] A. J. JAWORSKI and X. MAO, “Development of thermoacoustic devices for power generation and refrigeration,” in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 2013, vol. 227, no. 7, pp. 762–782.
- [5] S. KALRA, K. P. DESAI, H. B. NAIK, and M. D. ATREY, “Theoretical study on standing wave thermoacoustic engine,” *Phys. Procedia*, vol. 67, pp. 456–461, 2015.
- [6] S. L. GARRETT, “Thermoacoustic engines and refrigerators,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 1440, no. 7, pp. 9–22, 2012.
- [7] C. SHEN, H. X. LI, D. W. ZHANG, P. YU, N. PAN, and S. F. WANG, “Study on the heat transfer characteristic of solar powered thermoacoustic prime mover at different tilted angles,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 103, pp. 1126–1134, 2016.
- [8] S. BACKHAUS, E. TWARD, and M. PETACH, “Traveling-wave thermoacoustic electric generator,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 85, no. 6, pp. 1085–1087, 2004.
- [9] Z. H. WU, M. MAN, E. C. LUO, W. DAI, and Y. ZHOU, “Experimental investigation of a 500 W traveling-wave thermoacoustic electricity generator,” *Chinese Sci. Bull.*, vol. 56, no. 19, pp. 1975–1977, 2011.
- [10] K. WANG *et al.*, “An acoustically matched traveling-wave thermoacoustic generator achieving 750 W electric power,” *Energy*, vol. 103, pp. 313–321, 2016.
- [11] M. A. G. TIMMER, K. DE BLOK, and T. H. VAN DER MEER, “Review on the conversion of thermoacoustic power into electricity,” *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 143, no. 2, pp. 841–857, 2018.
- [12] E. T. BOESSNECK and T. E. SALEM, “Performance Characterization of Bi-Directional Turbines for Use in Thermoacoustic Generator Applications,” p. V001T09A001, 2016.
- [13] S. RAGHUNATHAN, T. SETOGUCHI, and K. KANEKO, “Aerodynamics of monoplane wells turbine - a review,” *Int. J. Offshore Polar Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 68–75, 1994.
- [14] P. SETIAWAN and T. YUWONO, “The Effect of Inner Fan Blade Angle to The Ventilation Rate of The Turbine Ventilator,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 3, pp. 227–233, 2018.
- [15] T. SETOGUCHI and M. TAKAO, “Current status of self rectifying air turbines for wave energy conversion,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 47, no. 15–16, pp. 2382–2396, 2006.
- [16] T. BIWA, Y. TASHIRO, H. NOMURA, Y. UEDA, and T. YAZAKI, “Experimental verification of a two-sensor acoustic intensity measurement in lossy ducts,” *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 124, no. 3, pp. 1584–1590, 2008.
- [17] ROSSING, T. D., (2007), Springer Handbook of Acoustic. Edited by T. D. Rossing. LLC New York: Springer Science+Business Media.