

PENINGKATAN EFISIENSI KONVERSI ENERGI MESIN TERMOAKUSTIK

Nurpatria^{1*}, I Gede Bawa Susana¹, I Wayan Joniarta¹, Nurhayati¹, Hedry Sakke Tira¹

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

*Corresponding Author Email: nurpatria@unram.ac.id

ABSTRAK

Status ekonomi penduduk lansia memberikan gambaran mengenai keadaan ekonomi lansia menurut pengeluaran perkapita dalam rumah tangga lansia. Sebagian besar penduduk lansia di Provinsi Nusa Tenggara Barat berada dalam rumah tangga dengan 40 persen ekonomi terbawah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan membuktikan bahwa kemampuan membaca dan menulis, status perkawinan dan status bekerja sebagai determinan yang mempengaruhi status ekonomi penduduk lanjut usia. Sumber data yang digunakan berasal dari Badan Pusat Statistik NTB dan Sakernas. Untuk menganalisis pengaruh kemampuan membaca dan menulis, status perkawinan, dan status bekerja terhadap status ekonomi penduduk lansia di Provinsi Nusa Tenggara Barat digunakan analisis deskriptif kuantitatif dengan model regresi data panel. Hasil pengujian hipotesis berdasarkan rekomendasi fixed effect model menunjukkan bahwa variabel status kawin yang berpengaruh signifikan. Sedangkan kemampuan membaca dan menulis, dan variabel status bekerja tidak berpengaruh signifikan. Secara simultan ketiga variabel tersebut berpengaruh signifikan terhadap status ekonomi lansia dengan 40 persen ekonomi terbawah di Provinsi Nusa Tenggara Barat. Koefisien determinasi (R^2) sebesar 98,93 persen yang bermakna bahwa kemampuan membaca dan menulis, status kawin, dan status bekerja mampu menjelaskan variabel status ekonomi lansia dengan 40 persen ekonomi terbawah, sedangkan 1,07 persen dijelaskan oleh variabel diluar model antara lain angka kesakitan, dan jaminan hari tua.

Keyword: Kemampuan membaca dan menulis, status kawin, status bekerja dan status ekonomi lansia, fixed effect model.

1. PENDAHULUAN (cambria math 12 bold)

Sebuah model mesin termoaakustik jenis *travelling wave* telah dibuat Nurpatria dkk [1]. Model tersebut bekerja dengan efisiensi konversi energi kalor menjadi energi akustik sebesar 2,69%. Model hasil simulasi tersebut dibuat agar memiliki kemampuan memakai sumber kalor yang berasal dari aliran gas panas hasil pembakaran biomassa. Transfer kalor terjadi dalam komponen mesin yang disebut *Hot Heat Exchanger* (HHX). Komponen HHX dimodelkan memiliki spesifikasi tidak hanya mampu menggunakan gas panas hasil pembakaran biomassa grade industri yang telah melewati pre-treatment, tetapi juga dapat memakai gas panas pembakaran biomassa ber-grade rendah. Konstruksi khusus HHX tersebut dimaksudkan agar mesin dapat diaplikasikan di masyarakat pedesaan. Area aplikasi pedesaan dari model mesin ini sangat prospektif mengingat potensi energi biomassa Indonesia berada pada kisaran 30000 Mwe.

Menggunakan model yang telah dikembangkan Nurpatria dkk [1] sebagai model awal, Nurpatria dkk [2] membangun model mesin yang sama dengan efisiensi konversi energi yang lebih baik dengan prosedur dan software simulasi yang sama. Efisiensi kalor model mesin adalah 3,13%, dengan perbaikan sekitar 16,35%. Perbaikan efisiensi tersebut merupakan hasil simulasi untuk penentuan parameter Regenerator (REG) mesin yang lebih tepat. Regenerator adalah komponen mesin dimana terjadi proses konversi energi kalor menjadi energi akustik. Semakin baik kerja REG, semakin tinggi dan semakin efisien proses konversi energi dari mesin. Dari empat parameter regenerator yang berpengaruh, hanya satu yang sudah disimulasikan yaitu ukuran *thermal penetration depth* (δ_k), yang berkorelasi dengan radius hidrolis (r_h). Tiga parameter REG lainnya dianggap konstan, seperti tersetting pada

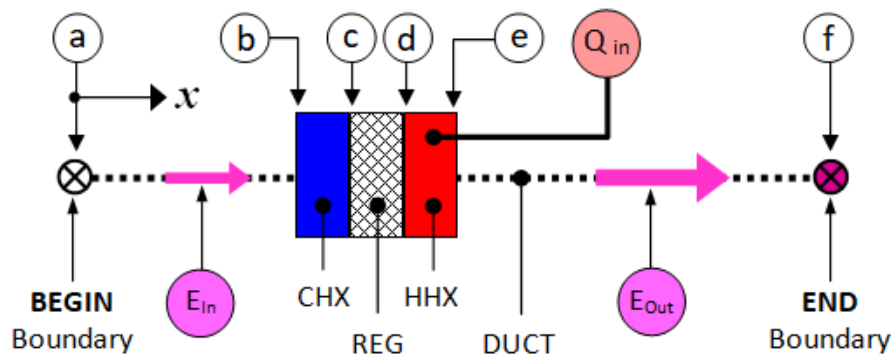
Nurpatria dkk [1], dan belum dijadikan masukan simulasi sehingga belum diketahui efeknya terhadap performa dan karakteristik keluaran model mesin tersebut.

Secara teori diketahui bahwa tingkat pembangkitan energi akustik regenerator dipengaruhi oleh semua parameternya. Sejalan dengan hal itu, hasil dari Napolitano et.al. [3] menunjukkan bahwa semua parameter regenerator berkontribusi sesuai porsi masing-masing pada kemampuan regenerator. Gambaran hasil penelitian terdahulu tersebut menunjukkan masih terbuka ruang untuk perbaikan performa mesin secara umum dengan fokus pada kinerja regenerator.

2. METODE

2.1 Model Mesin

Gambar 1 menunjukkan skema model mesin yang disimulasi. Badan mesin berbentuk loop tunggal. Segmen mesin terdiri dari satu HHX, satu REG, satu Cold Heat Exchanger (CHX), dan saluran penghubung DUCT yang berisi udara yang berfungsi sebagai fluida kerja. Titik datum mesin BEGIN diambil sebagai referensi posisi, hingga ujung mesin berakhir di titik END. Agar terbentuk loop, titik (a) dan (f) dikopel secara virtual dengan menyamakan *boundary condition* keduanya.



Gambar 1. Setup model mesin dalam simulasi

2.2 Metode Simulasi

Simulasi dilakukan dengan software *open source* DELTA-EC Versi 6.2 [4]. Sebagian dari parameter penting model diseting konstan permanen seperti dalam Tabel 1. Sebagian parameter lain yang disimulasi diseting konstan secara bergantian.

Tabel 1. Parameter konstan mesin dalam simulasi DELTA-EC

Nama Parameter	Simbol	Satuan	Nilai
Tekanan rata-rata	P_m	atm	1
Temperatur CHX	Q_h	W	300
Porositas volume CHX	ϕ_c	%	50
Porositas volume HHX	ϕ_h	%	50
Luas penampang HHX	A_g	mm ²	100
Luas penampang CHX	A_g	mm ²	100
Luas penampang REG	A_g	mm ²	100

Perubahan karakteristik semua parameter simulasi di tiap segmen, misalnya dari titik c hingga titik d segmen REG, diketahui dengan jalan integrasi numerik yang dikerjakan dalam software. Di titik c diketahui energi akustik masuk segmen REG, dinyatakan dalam variabel kompleks osilasi tekanan p , dan laju aliran volume U , dan beda fasa keduanya θ [5],

$$(E)_c = \frac{1}{2} |p| |U| \cos \theta \quad (1)$$

Energi akustik keluar REG di titik d juga diketahui dari (1) dalam pernyataan $(E)_d$. Perubahan parameter apapun yang diberikan pada geometri REG akan berakibat langsung pada $(E)_2$ segmen ini. Karena itu aliran energi $(E)_{1d}$ dan $(E)_2$ dianggap setara E_{in} dan E_{out} untuk amplifikasi akustik ideal di segmen REG. Sehingga efisiensi konversi energi mesin (Efisiensi H-A) dapat dinyatakan sebagai berikut [5],

$$\eta = \left(\frac{(E)_d - (E)_c}{Q_{in}} \right) 100\% \quad (2)$$

Kalor input mesin adalah Q_{in} , merupakan pemodelan suplai kalor dari pembakaran biomassa yang masuk ke HHX dalam bentuk aliran gas panas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perbandingan Hasil Simulasi

Tabel 2 menunjukkan perbandingan nilai parameter hasil simulasi dari dua model, model tahun 2019 dari [2] dan model sekarang, tahun 2020. Tiga parameter yang terlihat berubah cukup signifikan adalah panjang regenerator L, driving force (p/p_m), dan frekwensi f.

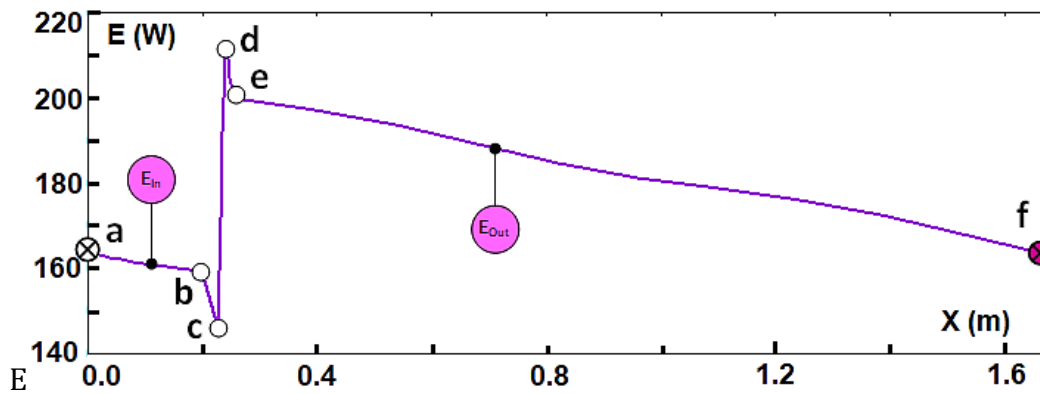
Tabel 2. Hasil Simulasi DELTA-EC

Komponen Mesin	Parameter			Model 2019	Model 2020
	Nama	Simbol	Satuan		
Parameter Global	Energi akustik	E	W	26,6	58,4
	Efisiensi H-A	η	%	3,13	7,16
	Efisiensi CAR	η	%	46,85	50,04
	Driving Force	(p/p_m)	%	4,96	5,29
	Frekwensi	f	Hz	258	307
Regenerator	Radius Hidrolik	r_h	mm	0,055	0,058
	Panjang	L	mm	13,00	18,40
	Porositas	Vol	%	72,00	71,20
HHX	Kalor Input	Q_{in}	W	846	815

Perubahan driving force adalah perantara meningkatnya pembangkitan energi akustik melalui siklus termodinamika serupa siklus stirling yang terjadi dalam pori-pori material regenerator [6]. Frekwensi dan radius hidrolik terkait erat dan saling berhubungan secara timbal balik [5]. Namun demikian panjang radius hidrolik efektif terbatas oleh fakta bahwa semakin kecil pori-pori, kerugian viskos akibat aliran fluida kerja U juga semakin besar [5,6], karena itu r_h mempunyai nilai optimum.

3.2 Pembangkitan Energi Akustik

Distribusi energi akustik mesin Gambar 1 seperti dalam Gambar 2. Titik a, b, c, d, e, dan f adalah energi akustik di lokasi kontak dua segmen berdekatan. Energi akustik keluar REG, yaitu E_{out} , selalu melemah di semua segmen, kecuali dalam REG yaitu di segmen (c-d). Setelah mencapai titik akustik terlemah di c, energi akustik umpan masuk REG, E_{in} , diperkuat kembali.



Gambar 2. Energi akustik (E) di setiap lokasi (X) pada mesin

Profil distribusi Gambar 2, umumnya akan terdeviasi di semua segmen bila dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan teknik pemodelan terbaru [7] yang lebih kompleks. Namun demikian secara umum, penggunaan teori akustik linier sebagai dasar simulasi DELTA-EC memberikan trend yang saling mendekati.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan

Model mesin termoakustik dari hasil simulasi menunjukkan performa konversi energi yang lebih baik. Efisiensi mesin naik menjadi 7,16%, dari sebelumnya 3,31%, berarti kenaikan 128%. Peningkatan energi akustik mesin naik sebesar 58,4 W, dari sebelumnya 26,6 W, sehingga energi akustik mesin bertambah sebesar 119%. Input kalor mesin lebih rendah, 815 W pada model awal menjadi 794 W pada model akhir. Sehingga kebutuhan kalor mesin lebih hemat 2,5%.

Pengembangan

Model mesin ini dapat dikembangkan agar berefisiensi lebih baik, berdasarkan fakta hasil simulasi bahwa parameter yang tepat dapat memperbaiki kinerja mesin. Diantara parameter mesin lain yang diperkirakan berpengaruh tetapi belum dijadikan parameter simulasi adalah parameter penempatan komponen terhadap gelombang akustik dan peredaman kerugian energi akustik akibat beberapa jenis losses.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Disampaikan terimakasih sebesar-besarnya kepada Universitas Mataram melalui Lembaga LPPM atas Pembiayaan Penelitian PNPB 2020 yang telah diberikan. Artikel ini menggunakan data hasil simulasi yang berasal dari penelitian tersebut.

6. DAFTAR REFERENSI

- [1] Nurpatia N., Syahrul S., Pandri P., Sayoga I.M.A., Mulyanto A., 2019a, Simulasi parameter geometri regenerator mesin termoakustik, *Dinamika Teknik Mesin*, **9(2)**, 125-132
- [2] Nurpatia, Syahrul, Pandri P., Sayoga I.M.A., Mulyanto A., 2019b, Penentuan Efisiensi Konversi Energi Mesin Termoakustik Dengan Simulasi Parameter Regenerator, *Prosiding Seminar Nasional SAINTEK 2019 Universitas Mataram*, 132-136
- [3] Napolitano M., Dragonetti R., Romano R., 2017, A method to optimize the regenerator parameters of a thermoacoustic engine, *Energy Procedia*, **126(201709)**, 525-532
- [4] Ward B., Clark J., Swift G.W., 2008, Design Environment for Low-Amplitude Thermoacoustic Energy Conversion (DELTA-EC) Version 6.2, *Los Alamos, USA*

- [5] Swift G.W., 2001, Thermoacoustics: A unifying perspective for some engines and refrigerators, Fifth Draft, *Los Alamos*, USA
- [6] Skaria M., Rasheed K.K.A., Shafi K.A., 2016, Influence of working fluid and operating parameters on the performance of traveling wave thermo acoustic prime mover, *IJEAT*, **5(4)**, 212-216
- [7] Wang Y., Shihong Z., Yan Q., Tang F., 2020, Coupled model and flow characteristics of thermoacoustic refrigerators, *ERE*, **2(025016)**, 1-15