

Kajian computational fluid dynamic (CFD) pada bamboo-fueled Stirling Engine Cogeneration

Ridwan Abdurrahman^{1, a*}, Ari D. Pasek^{1b} dan Willy Adriansyah^{1c}

¹Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara Institut Teknologi Bandung

* ridwan.abdurrahman290@gmail.com, aripasek@gmail.com, willy@termo.pauir.itb.ac.id

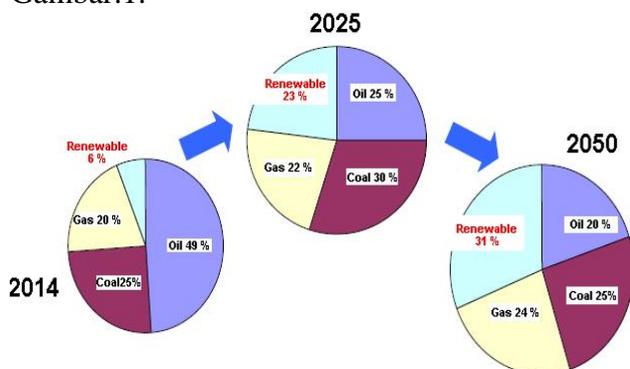
Abstrak

Motor bakar Stirling atau biasa juga disebut Mesin Stirling adalah salah satu mesin kalor dan didefinisikan sebagai mesin regenerasi udara panas siklus tertutup. Dalam konteks energi terbarukan mesin stirling dapat menggunakan biomass sebagai bahan bakar. Indonesia merupakan salah satu negara dengan hutan bambu terluas di asia. Bambu memiliki nilai kalor yang cukup potensial sebagai bahan bakar. Karakteristik utama Bambu berupa kandungan air, nilai kalor, dan komposisi kimia sangat mempengaruhi proses pembakaran Bambu di dalam tungku. Pada makalah ini dibahas simulasi pembakaran bambu dalam tungku yang panasnya digunakan untuk penggerak Mesin Stirling berdaya 200 W. Penelitian ini merupakan kerja sama antara Institut Teknologi Bandung dan Teikyo University. Simulasi ini menggunakan perangkat lunak GASIFY 2.01d, ANSYS FLUENT 16 dan SOLIDWORKS 2016. GASIFY digunakan untuk proses pembentukan gas hasil pembakaran bambu, sedangkan ANSYS FLUENT 16 untuk menyimulasikan distribusi temperatur, reaksi pembakaran, dan aliran gas hasil pembakaran di dalam tungku. SOLIDWORKS 2016 merupakan perangkat lunak yang digunakan dalam mendesain geometri tungku bahwa Bambu dapat digunakan sebagai sumber panas Motor Stirling kapasitas 200 W, karena hasil pembakarannya menghasilkan gas bertemperatur di atas 723 K sebagaimana dipersyaratkan agar Motor Stirling dapat bekerja.

Kata kunci: CFD, bamboo, biomass, *stirling engine*,

Pendahuluan

Energi terbarukan merupakan energi yang sumbernya memiliki waktu daur melebihi waktu konsumsinya. Dalam hal ini pemerintah Indonesia merencanakan peningkatan penggunaan energi terbarukan hingga mencapai 31 % dari konsumsi energi nasional pada tahun 2050, seperti diperlihatkan pada Gambar.1.



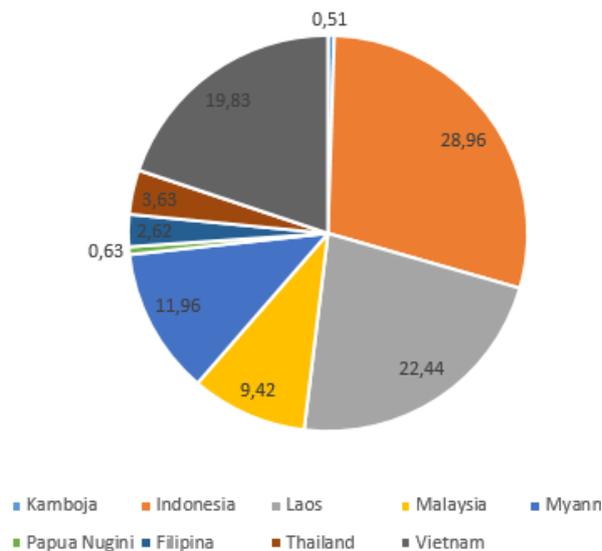
Gambar.1 Prediksi komposisi energi di Indonesia [1]

Prediksi komposisi energi terbarukan di Indonesia untuk rentang tahun 2007-2025 diperlihatkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Program energi terbarukan dari rentang 2007-2025[2]

Jenis Energi	satuan	Nilai				
		2007	2010	2015	2020	2025
Biodiesel	Mega liter	133	482	1.700	5.784	14.819
Bioetanol	Mega liter		296	1.112	3.624	9.106
PPO	Mega liter		208	1.016	2.644	5.901
Biomass	MW	445	500	590	710	870
Panas bumi	MW	1.052	1.260	4.156	7.788	12.332
Angin	MW	2	4	40	128	256
Surya	MW	12	25	75	324	580
PLTA mikro	MW	210	245	417	760	1.425
PLTA	MW	4.200	4.380	6.069	8.940	10.940

. Indonesia termasuk negara yang memiliki hutan bambu terbesar se asia tenggara sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2 berikut. Oleh sebab itu, Bambu termasuk salah satu jenis biomass berpotensi untuk dimanfaatkan



Gambar.2 Area hutan bambu di asia tenggara [1]

Penggunaan bambu tidak akan menambah emisi CO₂ (*zero carbon*), apabila diiringi dengan proses penanaman kembali.

Motor Stirling yang digunakan merupakan Motor Stirling Kapasitas Kecil yang dikembangkan oleh JPC Teikyo University [1].

Mekanisme pembakaran bahan bakar padat.

Ketika suatu bahan bakar padat terkena sebuah aliran gas panas, maka bahan bakar tersebut akan mengalami 3 tahap kehilangan massa yakni:

- *Drying*. Pada tahap ini bahan bakar panaskan di atas temperatur evaporasi air. Proses ini berlangsung dengan melewati udara panas pada padatan. Air yang terkandung dalam bahan bakar terdiri dari dua bentuk, yang pertama yaitu air terikat, dimana air tertahan dalam ikatan kimiawi yang lemah atau terperangkap dalam struktur mikro bahan bakar. Yang kedua adalah air tak terikat yaitu berasal dari air terikat yang berlebih atau air yang terdapat pada struktur makro padatan (pada pori-pori padatan). Kedua jenis air ini akan menguap pada proses *drying* secara berurutan [3].
- *Devolatilization*. Setelah kadar air dihilangkan maka temperatur dari

padatan semakin meningkat sehingga padatan mulai terdekomposisi dan terjadi proses pelepasan zat-zat yang mudah menguap (*volatile matter*). *Volatile matter* keluar melalui rongga bahan bakar dan memenuhi pori-pori. Hal ini menyebabkan oksigen dari luar tidak dapat masuk kedalam partikel. Proses yang menyebabkan terjadinya pemanasan padatan tanpa kehadiran oksigen disebut pirolisis [3].

- *Char Combustion*. *Char* atau *fixed carbon* merupakan gumpalan matriks karbon dengan sedikit hydrogen yang terdapat pada senyawa bahan bakar. Bagian ini sangat berpori yang berarti luas permukaan bagian dalam sangat besar. Jika terdapat oksigen maka akan terjadi pembakaran pada *char*. *Char* memiliki nilai kalor yang paling tinggi dibandingkan dengan *volatile matter*. Ketika terjadi pembakaran pada *char*, maka temperatur akan naik lebih tinggi dari sekitarnya. Proses ini merupakan tahapan akhir dari proses pembakaran pada bahan bakar padat [3].

Pada bahan bakar padat yang kecil, ketiga fenomena diatas terjadi secara berurutan. Namun pada padatan yang lebih besar, ketiga fenomena diatas terjadi secara bersamaan [4]. Dalam hal ini pada ANSYS FLUENT 16, simulasi yang dilakukan tidak mendukung untuk kondisi partikel besar, sehingga dilakukan pendekatan berupa gas hasil pembakaran pada kondisi kurang oksigen menggunakan data komponen penyusun bambu dan perangkat lunak GASIFY.

Komponen proksimat dan ultimat bambu.

Simulasi pembakaran bambu dalam tungku, dibutuhkan data unsur proksimat (*proximate*) dan ultimat (*ultimate*). Unsur proksimat adalah unsur penyusun bahan bakar yang berhubungan dengan keterbakaran. Data mengenai unsur proksimat diperlihatkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Proximate analysis[5]

No.	Parameter	Nilai
1	Moisture	11,10 %
2	Volatile Matter	79,80 %
3	Fixed carbon	15,90 %
4	Ash	4.3 %

Unsur Ultimat adalah unsur unsur penyusun bahan bakar. Data unsur Ultimate Bambu diperlihatkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Ultimate analysis[6]

No.	Parameter	Nilai
1	Karbon	46,91 %
2	Hidrogen	6,46 %
3	Nitrogen	0,39 %
4	Oksigen	44,54 %
5	Abu	1.70 %

Gas hasil pembakaran.

Dengan menggunakan data unsur Proksimat dan Ultimat di atas dan dengan menggunakan perangkat lunak GASIFY diperoleh gas hasil pembakaran bambu kondisi kurang oksigen (reaksi antara fuel dan primary air) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

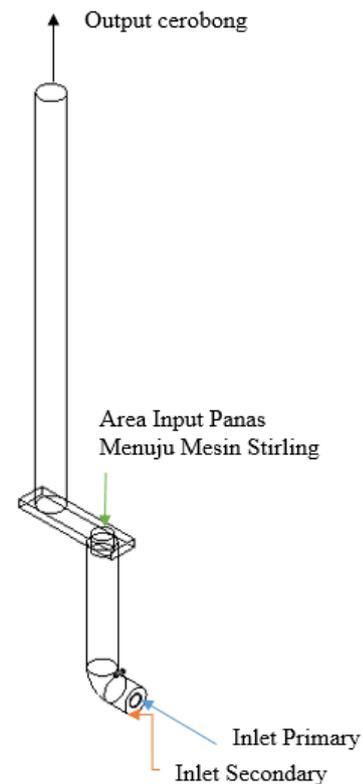
Tabel 4. Gas hasil pembakaran

No.	Parameter	Nilai mass fraction
1	Karbon di-oksida	0,0001
2	Karbon mono-oksida	0,7084
3	Hidrogen	0,0420
4	Metana	0,0002
5	Nitrogen	0,2484
6	Amonia	0,0009
7	Air	0,0001

Geometri.

Model digambar dan dibuat jejaringnya (*mesh*) dengan menggunakan SOLIDWORK 2016. Geometri dari tungku berikut cerobongnya diperlihatkan pada Gambar 3.

Aliran fluida memiliki geometri berupa hasil perpotongan antara daerah didalam tungku dan daerah input panas Motor Stirling, Pada bagian inlet terbagi atas bagian inlet primary (reaksi antara fuel dan primary air), dan bagian inlet secondary (secondary air).



Gambar.3 Geometri Tungku dan Cerobongnya

Fluks Panas yang Masuk ke Motor Stirling

Pengaruh adanya penangkap panas Motor Stirling didalam tungku dimodelkan dengan adanya fluks panas keluar dari dinding [7]. Besarnya panas yang keluar tersebut dapat dihitung dengan persamaan:

$$q_s'' = (A) / q_{conv} \quad \dots (1)$$

q_{conv} didapat dari perpindahan panas yang terjadi pada Motor Stirling. Dengan asumsi efisiensi dari Motor Stirling 20%, maka didapat q_{conv} sebesar 1000 W. Area penangkap panas (A) pada Motor Stirling merupakan tonjolan silinder dengan luas 0,0314 m².

Koefisien Perpindahan Panas

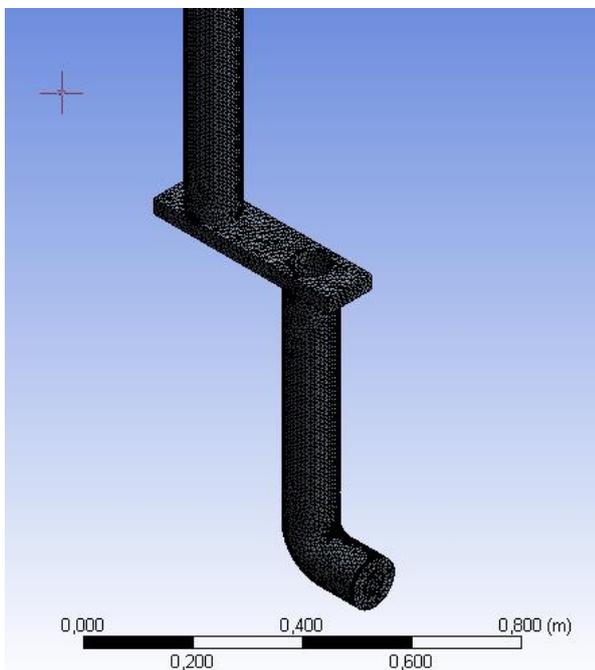
Untuk memprediksi perpindahan panas pada dinding tungku, diperlukan input a koefisien perpindahan panas [7]. Persamaan yang dipakai digunakan untuk memprediksi koefisien perpindahan panas ini adalah

$$hs = \frac{k}{H} Nu_l \quad \dots (2)$$

k merupakan koefisien konduktivitas, sedangkan H merupakan tebal pipa, dan Nu adalah bilangan nusselt.

Mesh

Mesh merupakan pembagian objek menjadi bagian bagian yang lebih kecil. Semakin kecil mesh yang dibuat maka hasil perhitungan akan semakin teliti namun membutuhkan durasi komputasi yang lama. Dalam pemodelan ini digunakan mesh sebesar 5 mm, sehingga menghasilkan mesh dengan jumlah elemen 586463 unit. Gambar.4 menampilkan bentuk mesh fluida di dalam tungku.



Gambar.4 Mesh fluida di dalam tungku

Kondisi Batas.

Dalam studi ini udara mengalir dengan sebesar 2kg/s digambarkan sebagai massflow inlet pada bagian Inlet Primary dan Inlet Secondary Sedangkan aliran udara keluar dianggap output pressure pada..... Dengan menghitung Bilangan Reynolds akan diketahui aliran udara adalah laminar atau turbulen. Untuk mengantisipasi aliran turbulen, maka dalam simulasi CFD dipilih model *viscous* turbulent [8].

Selain kondisi batas diatas, terdapat beberapa asumsi yang dilakukan yakni[9]:

- Fluida, diasumsikan sebagai *single phase*

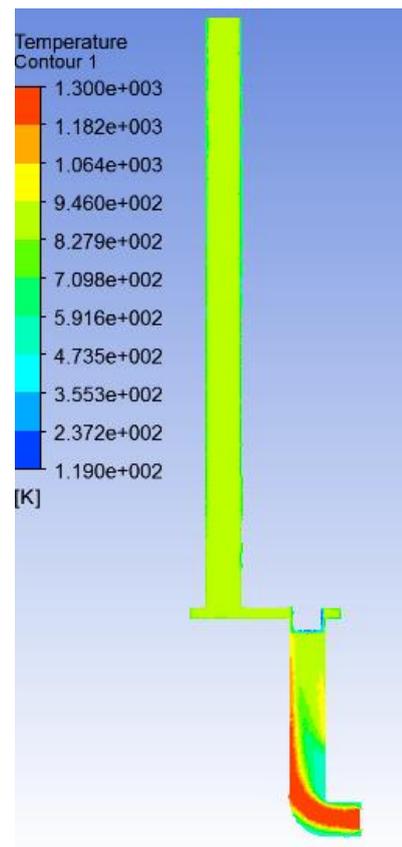
- Perhitungan dilakukan dalam kondisi *steady state*
- Pada dinding tungku dimodelkan sebagai adiabatik, sedangkan pada dinding cerobong terdapat kehilangan panas

Simulasi CFD.

Penyelesaian persamaan kelestarian massa, momentum, dan energi dalam arah sumbu X-Y-Z dilakukan dengan pendekatan. dengan volume finit yang dibangun menggunakan mesh [10]. Simulasi aliran gas/udara hasil pembakaran dilakukan dengan menggunakan ANSYS FLUENT versi 16.

Hasil dan diskusi

Distribusi temperatur didalam tungku hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 5



Gambar.5 Profil temperatur didalam tungku

Berdasarkan hasil simulasi tersebut dapat dilihat bahwa temperatur api yang dihasilkan berkisar pada 1.300 K. Setelah melewati Motor stirling, temperatur gas turun menjadi 700 K,

dan kemudian keluar di cerobong pada pada kisaran temperatur di sekitar 600 K.

Kesimpulan

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Bambu dapat digunakan sebagai sumber panas Motor Stirling kapasitas 200 W, karena hasil pembakarannya menghasilkan gas bertemperatur di atas 723 K sebagaimana dipersyaratkan agar Motor Stirling dapat bekerja.

Dari Hasil simulasi dapat terlihat pula distribusi temperatur gas belumlah seragam oleh sebab itu perlu dicari geometri tungku yang dapat memberikan keseragaman temperatur.

Pada simulasi ini Motor Stirling dimodelkan sebagai suatu daerah Area penangkap panas mempengaruhi aliran dan profil temperatur di dalam cerobong.

Referensi

- [1] Kuniyoshi. Eguchi, Joint Research, Program Wood-fueled SE Cogeneration, Technology (SECOTEC), Teikyo University, Japan, 2016.
- [2] Sutikno. Priyono, Overview on Renewable Energy in Indonesia and its Research & Development: Wind, Hydro and Biomass Energy, ITB, Bandung, 2012.
- [3] Hardianto, T, Bahan Kuliah Kapita Selekta Energi Terbarukan, ITB, Bandung, 2011.
- [4] Borman. Gary L, Rangeland. Kenneth W, Combustion engineering, McGraw-Hill, Inc., Singapore, 1998.
- [5] Ganesh Anuradha, Bamboo Characterization for Thermochemical Conversion and Feasibility Study of Bamboo Based Gasification and Charcoal Making, Energy Systems Engineering of Indian Institute of Technology, Mumbai, 2003.
- [6] Ko. Chun-Han, et al. Energy Analysis of Bioethanols Produced from Dendrocalamus latiflorus. Chemical Engineering Transactions. 34 (2013) 109-114.
- [7] Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Fundamentals of Heat and Mass Transfer, edisi ketujuh, John Wiley & Son Pte. Ltd. United States of America, 2011.
- [8] ANSYS Fluent 15.0 User's Guide, 2015.
- [9] Firman Tuakia, "Dasar-Dasar CFD Menggunakan Fluent", Informatika, Bandung, 2008
- [10] John D Anderson, Computational Fluid Dynamic, The Basics With Application. Direc von Karman, Institute For Fluid Dynamic. Belgium, 1995.