

Perencanaan Ruang Bakar Fluidisasi Menggunakan Bahan Bakar Sampah

Planning of Fluidized Combustion Chamber Using Waste Fuel

Barita¹, Kirfan Wujud¹, Eswanto^{2*}

¹ Prodi Teknik Mesin, Institut Teknologi Medan, Jl. Gedung Arca No. 52, Medan, 20217, Indonesia

Prodi Teknik Mesin, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia

*Corresponding Author: eswanto@unimed.ac.id

Diterima: 03-08-2022

Disetujui: 13-08-2022

Dipublikasikan: 15-08-2022

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Kebutuhan akan energi sekarang ini semakin meningkat sejalan dengan perkembangan pertumbuhan manusia serta ekonomi. Jika hanya mengandalkan akan energi fosil maka kebutuhan pada beberapa tahun kedepan akan sangat berdampak pada keseimbangan sumber daya alam. Seiring dengan perkembangan zaman serta diikuti dengan menipisnya cadangan sumber daya fosil yang selama ini menjadi energi diseluruh dunia, telah melahirkan banyak teknologi pengkonversi sumber daya alam terbarukan sebagai upaya penekanan pemakaian bahan bakar fosil. Salah satu teknologi tersebut adalah fluidized bed combustor (FBC). Penelitian ini menjelaskan tentang kegunaan bahan bakar sampah yang dapat dijadikan perencanaan ruang bakar fluidisasi. Pada perancangan jumlah lubang dan diameter lubang distributor jenis perforated plat sangat baik dalam mendistribusikan aliran udara ke hamparan pasir untuk proses fluidisasi. Perbedaan akibat ketinggian pasir dapat dilihat pada tinggi pasir 3 cm membutuhkan waktu 16 menit untuk melakukan proses pemanasan awal, 4 cm tinggi pasir membutuhkan waktu 18 menit untuk melakukan pemanasan awal dan tinggi pasir 5 cm membutuhkan 21 menit untuk melakukan proses pemanasan awal. Jadi dapat dilihat, semakin tinggi pasir maka proses pemanasan awal lebih lama namun proses penyimpanan panas pada bed lebih baik.

Kata Kunci: *Fluidized bed combustion, bed, biomassa, distributor plat, freeboard*

Abstract

The need for energy is now increasing in line with the development of human and economic growth. If you only rely on fossil energy, the needs in the next few years will greatly impact the balance of natural resources. Along with the development of the times and followed by the depletion of fossil resource reserves which have been energy throughout the world, it has given birth to many technologies for converting renewable natural resources as an effort to emphasize the use of fossil fuels. One such technology is a fluidized bed combustor (FBC). This study explains the use of waste fuel which can be used as fluidization combustion chamber planning. In designing the number of holes and the diameter of the holes, the distributor type of perforated plate is very good at distributing air flow to the sand bed for the fluidization process. The difference due to the height of the sand can be seen in the sand height of 3 cm, it takes 16 minutes to carry out the preheating process, 4 cm the height of the sand takes 18 minutes to preheating and the sand height of 5 cm takes 21 minutes to carry out the preheating process. So it can be seen, the higher the sand, the longer the preheating process but the heat storage process on the bed is better.

Keywords: *Fluidized bed combustion, bed, biomassa, distributor plat, freeboard*

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan energi sekarang ini semakin meningkat sejalan dengan perkembangan pertumbuhan manusia serta ekonomi. Pada saat ini perlu dipikirkan untuk mencari energi alternatif karena kalau hanya dengan mengandalkan pada energi dari bahan bakar fosil sudah tidak mencukupi dalam beberapa puluh tahun kedepan. Hal ini sangat membahayakan kalau tidak segera tertangani karena akan terjadi ketidakseimbangan antara kebutuhan dan suplai yang akan menyebabkan krisis energi dan pada akhirnya mempengaruhi kondisi ekonomi dan politik. Banyak sumber-sumber bahan bakar alternatif yang dapat diolah menjadi suatu energi terbarukan, diantaranya nya pengolahan serbuk kayu menjadi briket, tempurung kelapa dan sampah. Bercerita tentang sampah banayak potensi yang dapat dihasilkan dari sampah, yang mana dari sampah ini setiap harinya menghasilkan kan berton-ton kubik yang dapat dihasilkan sebagai bahan bakar alternatif terbarukan.

Melihat potensi sampah yang diproduksi oleh setiap masyarakat dan untuk menanggulangi sampah yang semakin besar, maka sampah dapat dimanfaatkan untuk bahan bakar alternatif. Produksi sampah rakyat Indonesia diperkirakan pada tahun 2025 mencapai 130.000 ton/hari, sehingga merupakan potensi yang besar sebagai sumber daya (Redaksi Medialingkungan.Com 2014). Pengolahan sampah dapat dilakukan dengan berbagai metode antara lain menjadikannya sebagai pupuk, bahan bakar, bahan kebutuhan bangunan dan menjadi bahan kertas. Namun demikian bahwa baik penanggulangan dari ancaman sampah bagi lingkungan hidup maupun usaha pemanfaatan, hal ini harus terus menerus mendapat perhatian yang sungguh-sungguh.

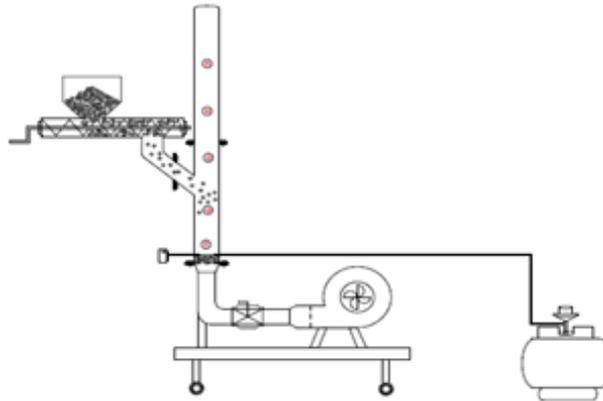
Pembuangan sampah yang tidak diurus dengan baik, akan mengakibatkan masalah besar. Karena penumpukan sampah atau membuangnya sembarangan ke kawasan terbuka akan mengakibatkan pencemaran tanah yang juga akan berdampak ke saluran air tanah. Demikian juga pembakaran sampah akan mengakibatkan pencemaran udara, pembuangan sampah ke sungai akan mengakibatkan pencemaran air, tersumbatnya saluran air dan banjir (Ratnaningsih et al. 2020; Fajarini et al. 2021). Selain itu, Eksploitasi lingkungan adalah menjadi isu yang berkaitan dengan pengurusan terutama sekitar kota. Oleh sebab itu, banyak negara besar melakukan incineration atau pembakaran, yang menjadi alternatif dalam pembuangan sampah. Sementara itu, permasalahan yang dihadapi untuk proses ini adalah biaya pembakaran lebih mahal dibandingkan dengan sistem pembuangan akhir (*sanitary landfill*). Apabila sampah ini digunakan untuk pertanian dalam jumlah yang besar, maka akan menimbulkan masalah karena mengandung logam berat (Sayuti, n.d.).

Metode pembakaran sampah biasanya menggunakan insinerator. Jenis incinerator yang paling umum diterapkan untuk membakar limbah padat adalah *rotary kiln, multiple hearth, fluidized bed, open pit, single chamber, multiple chamber, aqueous waste injection, dan starved air unit* (et al. 2019). *Fluidized Bed Combustion* adalah sebuah tungku pembakaran yang menggunakan media pengaduk berupa pasir, tujuannya agar terjadi percampuran (*mixing*) yang homogen antara udara dengan butiran-butiran pasir tersebut (Yusrizal and Qadri 2017; Septian, n.d.). *Mixing* yang konstan antara partikel-partikel mendorong terjadinya perpindahan panas yang cepat serta pembakaran sempurna. Pembakaran dengan teknologi *fluidized bed* merupakan suatu rancangan alternatif untuk pembakaran limbah padat maupun tidak padat. Teknologi ini telah diaplikasikan untuk berbagai bahan bakar seperti biofuel, batu bara, serta limbah sampah baik itu limbah organik maupun anorganik.

Adapun tujuan dari penelitian yang berjudul perencanaan ruang bakar fluidisasi menggunakan bahan bakar sampah adalah menentukan jumlah lubang distributor plate, menentukan pengaruh variasi ketinggian pasir terhadap karakteristik temperatur pembakaran dan mengetahui lama waktu proses pemanasan sampai menuju kondisi kerja terhadap pengaruh variasi ketinggian pasir.

2. Metode

Tempat perencanaan mesin serta kegiatan uji coba direncanakan atau dilaksanakan di Bengkel dan Lab. Jurusan Teknik Mesin ITM. Adapun penelitian ini direncanakan diperkirakan selama 6 bulan. Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah satu unit alat fluidized bed combustion dan sampah organik (Gambar 2). Gambar 1 adalah sketsa alat yang akan diuji.



Gambar 1. Alat Fluidized Bed Combustion



Gambar 2. Bahan bakar sampah organik daun

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data hasil pengujian pembakaran alat *fluidized bed combustion*

3.1.1 Data hasil pengujian pembakaran dengan ketinggian pasir 3 cm

Pengujian pembakaran alat fluidized bed combustion penulis mengambil beberapa parameter dalam melakukan percobaan, diantaranya :

- Tinggi pasir 3 cm.
- Diameter pasir mesh 14 = 1,410 mm
- Bahan bakar sampar organik yaitu daun.
- Kecepatan fluidisasi sebesar 14,1 m/s
- udara lebih (*excess air*) sebesar 0,12 m³/min
- Heating Value* bahan bakar (12.300 kJ/kg_{bb}) dan efisiensi ruang bakar : (η_f) diambil : 92,5 %
- Tinggi termokopel : T₁ = 5 cm, T₂ = 20 cm, T₃ = 35 cm, T₄ = 55 cm, T₅ = 75 cm

3.1.2 Data hasil pengujian pembakaran dengan ketinggian pasir 4 cm

Pengujian pembakaran alat fluidized bed combustion penulis mengambil beberapa parameter dalam melakukan percobaan, diantaranya :

- Tinggi pasir 4 cm.
- Diameter pasir mesh 14 = 1,410 mm

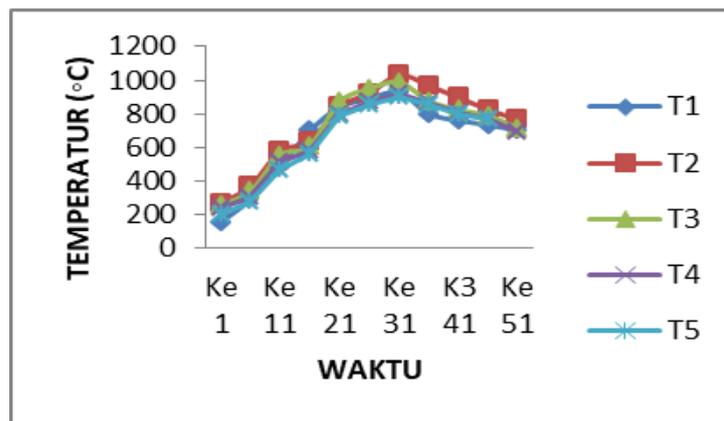
- c. Bahan bakar sampar organik yaitu daun.
- d. Kecepatan fluidisasi sebesar 13,6 m/s
- e. Udara lebih (*excess air*) sebesar 0,12 m³/min
- f. *Heating Value* bahan bakar (12.300 kJ/kg_{bb}) dan efisiensi ruang bakar : (η_f) diambil : 92,5 %
- g. Tinggi termokopel : T₁ = 5 cm, T₂ = 20 cm, T₃ = 35 cm, T₄ = 55 cm, T₅ = 75 cm

3.1.3 Data hasil pengujian pembakaran dengan ketinggian pasir 5 cm

Pengujian pembakaran alat fluidized bed combustion penulis mengambil beberapa parameter dalam melakukan percobaan, diantaranya :

- a. Tinggi pasir 5 cm.
- b. Diameter pasir mesh 14 = 1,410 mm
- c. Bahan bakar sampar organik yaitu daun.
- d. Kecepatan fluidisasi sebesar 13,39 m/s
- e. Udara lebih (*excess air*) sebesar 0,18 m³/min
- f. *Heating Value* bahan bakar (12.300 kJ/kg_{bb}) dan efisiensi ruang bakar : (η_f) diambil : 92,5 %
- g. Tinggi termokopel : T₁ = 5 cm, T₂ = 20 cm, T₃ = 35 cm, T₄ = 55 cm, T₅ = 75 cm

3.2 Pembahasan Pengujian Pembakaran Alat Fluidized Bed Combustion

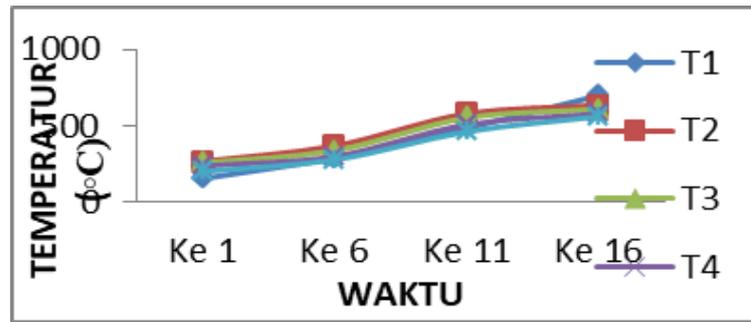


Gambar 3. Grafik pengujian pembakaran pada tinggi pasir 3cm

Dari Gambar 3. di atas hasil pengujian dengan tinggi pasir 3 cm dengan jumlah bahan bakar 1,5 kg_{bb}, trendline grafik pemanasan awal menunjukkan kenaikan pada selang menit ke 0 – 16, relatif cepat mengalami kenaikan dikarenakan adanya burner untuk proses pemanasan awal. Pemanasan dilakukan dengan cara memberikan suplai gas LPG keruang bakar, hal ini dimaksudkan agar hamparan bed cepat mencapai pada kondisi kerja. Setelah menit ke 16 data temperatur menunjukkan kondisi steady. Trendline grafik yang relatif naik setelah menit ke 16, menunjukkan proses pembakaran fluidized bed berjalan secara kontinyu.

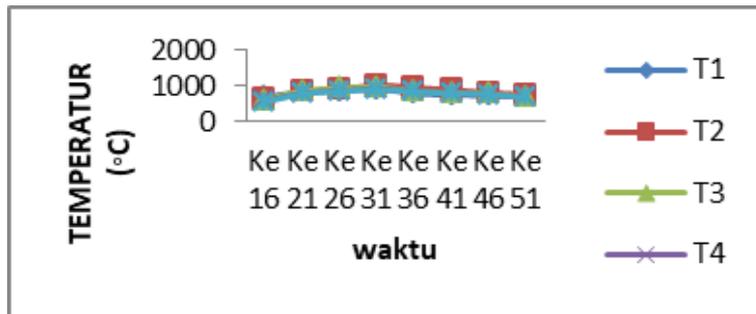
3.2.1 Pengujian pembakaran kondisi pemanasan awal menuju kondisi kerja pada tinggi pasir 3 cm

Dari Gambar 4 diatas Kondisi pemanasan sebelum kondisi kerja pada percobaan dengan tinggi pasir 3 cm belangsung dari menit pertama hingga menit ke 16. Pada kondisi T1 terlihat mengalami peningkatan perubahan temperatur yang signifikan dibandingkan pada titik termokopel yang lain hal ini disebabkan terjadinya heat transfer dari sumber pemanasan awal/burner ke hamparan pasir. namun berbeda dengan termokopel yang lain, yang mana kenaikan temperatur tidak terlalu signifikan.



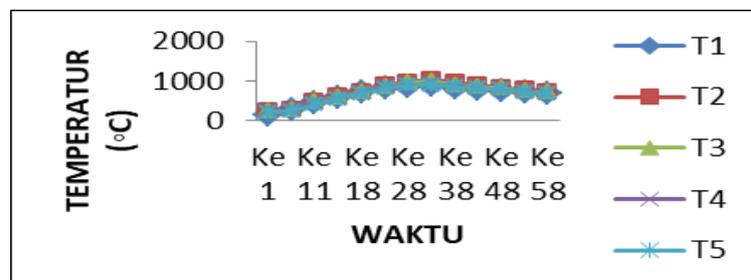
Gambar 4. Grafik pemanasan awal dengan tinggi pasir 3 cm

3.2.2 Pengujian Pembakaran pada Temperatur Kerja dengan Tinggi Pasir 3 cm



Gambar 5. Kondisi kerja dengan tinggi pasir 3 cm

Dari Gambar 5 diatas dapat disimpulkan temperatur kerja berlangsung pada menit 16 sampai selesai. Pada kondisi kerja kenaikan temperatur pada T1 tidak terlalu mengalami perubahan yang drastis, berbeda hal pada T2 yang mengalami kenaikan temperatur yang signifikan, keadaan ini dikarenakan pada kondisi kerja terjadi heat transfer dari bahan bakar ke hamparan, serta sifat fluidisasi yang mendistribusikan suhu yang merata.

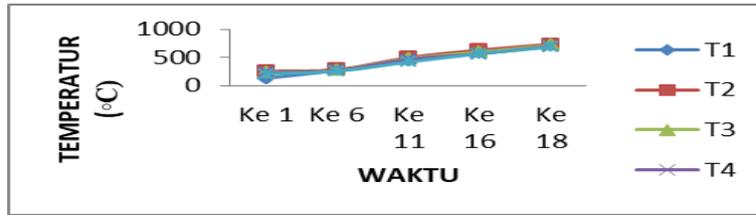


Gambar 6. Grafik pengujian pembakaran pada tinggi pasir 4 cm

Dari Gambar 6. diatas hasil pengujian dengan tinggi pasir 4 cm dengan jumlah bahan bakar 1,5 kg_{bb}, trendline grafik pemanasan awal menunjukkan kenaikan pada selang menit ke 0 – 18, relatif cepat mengalami kenaikan dikarenakan adanya burner untuk proses pemanasan awal. Pemanasan dilakukan dengan cara memberikan suplai gas LPG keruang bakar, hal ini dimaksudkan agar hamparan bed cepat mencapai pada kondisi kerja. Setelah menit ke 18 data temperatur menunjukkan kondisi steady. Trendline grafik yang relatif naik setelah menit ke 16, menunjukkan proses pembakaran fluidized bed berjalan secara kontinyu.

3.2.3 Pengujian pembakaran kondisi pemanasan awal menuju kondisi kerja pada tinggi pasir 4 cm

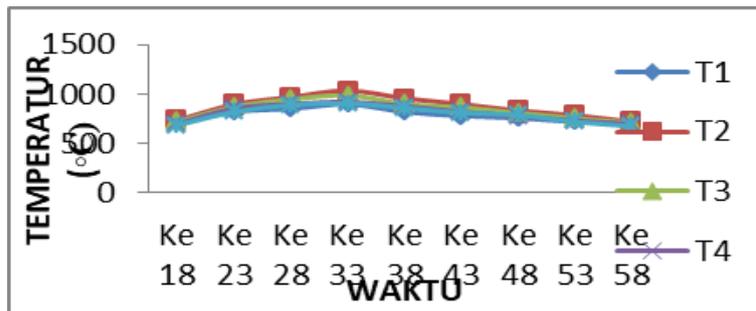
Dari Gambar 7. dari disimpulkan, percobaan dengan tinggi pasir 4 cm, pemanasan sebelum kondisi kerja berlangsung dari menit pertama hingga menit 18.



Gambar 7. Grafik pemanasan awal dengan tinggi pasir 4 cm

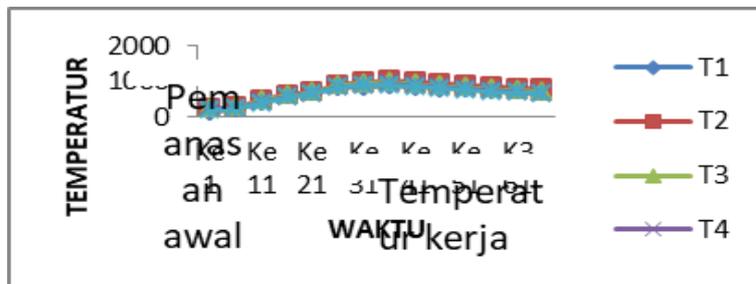
Durasi waktu lama pemanasan awal ini di akibatkan karena tinggi hamparan serta massa yang bertambah. Namun perubahan temperatur pada T1 sampai menuju kondisi kerja tidak terlalu drastis dibandingkan pada tinggi pasir 3 cm. fenomena ini terjadi karena gejala fluidisasi pada tinggi hamparan pasir 4 cm berlangsung secara stabil.

3.2.4 Pengujian Pembakaran pada Temperatur Kerja dengan Tinggi Pasir 4 cm



Gambar 8. Kondisi kerja dengan tinggi pasir 4 cm

Dari Gambar 8 diatas dapat disimpulkan, temperatur kerja berlangsung pada menit ke 18 sampai selesai. Kenaikan temperatur pada menit ke 18 sampai menit ke 23 cenderung melambat, hal ini dikarenakan massa dari hamparan bertambah sehingga temperatur terlebih dahulu memanaskan bed. Pada menit ke 23 sampai 38 pada masing masing ketinggian termokopel menunjukkan perbedaan temperatur. Perbedaan besar ini terjadi karena proses heat transfer dari bahan bakar ke hamparan.

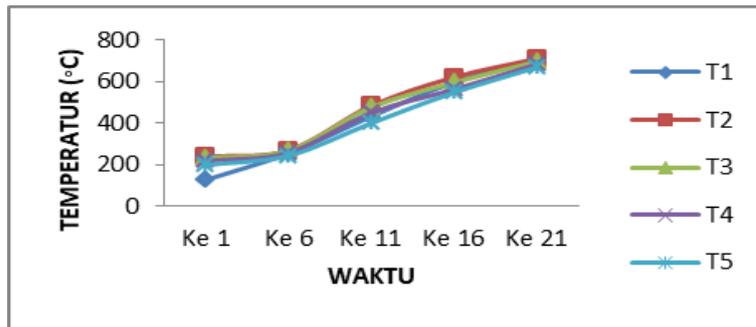


Gambar 9. Grafik pengujian pembakaran pada tinggi pasir 5 cm

Dari Gambar 9 diatas hasil pengujian dengan tinggi pasir 5 cm dengan jumlah bahan bakar 1,5 kg_{bb}, trendline grafik pemanasan awal menunjukkan kenaikan pada selang menit ke 0 – 21, relatif cepat mengalami kenaikan dikarenakan adanya burner untuk proses pemanasan awal. Pemanasan dilakukan dengan cara memberikan suplai gas LPG keruang bakar, hal ini dimaksudkan agar hamparan bed cepat mencapai pada kondisi kerja. Setelah menit ke 21 data temperatur menunjukkan kondisi steady. Trendline grafik yang relatif naik setelah menit ke 16, menunjukkan proses pembakaran fluidized bed berjalan secara kontinyu.

Pada dasar teori tentang proses pembakaran fluidisasi, temperatur fluidisasi untuk zona drying berada pada rentang 100°C-300°C, zona pirolisis berada pada rentang 300-900°C, zona oksidasi lebih dari 900°C, zona reduksi berada pada rentang 400-900°C dan temperatur gas yang keluar adalah 450°C.

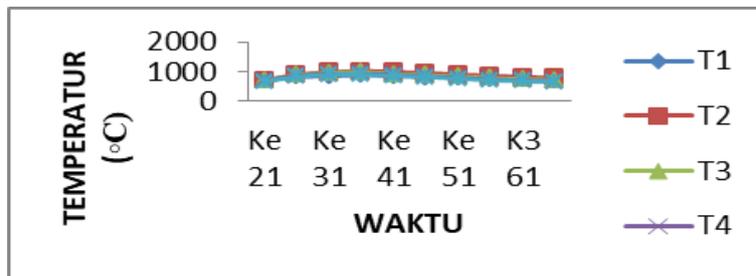
3.2.5 Pengujian pembakaran kondisi pemanasan awal menuju kondisi kerja pada tinggi pasir 5 cm



Gambar 10. Grafik pemanasan awal dengan tinggi pasir 5 cm

Dari Gambar 10 pada ke tinggian pasir 5 cm, untuk sampai menuju kondisi kerja memerlukan durasi selama 21 menit. Kenaikan temperatur pada masing-masing termokopel terjadi agak melambat, hal ini dikarenakan pada pasir 5 cm heat transfer hampir keseluruhan diterima dahulu oleh pasir.

3.2.6 Pengujian pembakaran pada temperatur kerja dengan tinggi pasir 5 cm

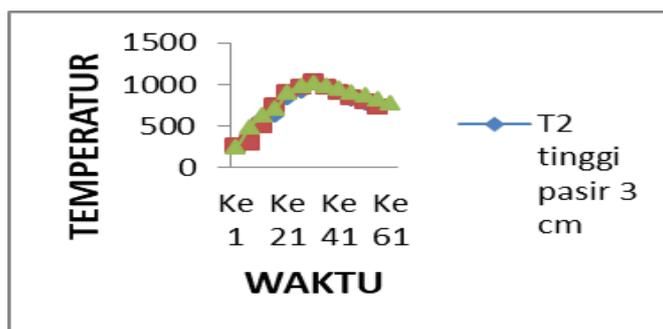


Gambar 11. Kondisi kerja dengan tinggi pasir 5 cm

Dari Gambar 11 di atas, dapat disimpulkan sebagai berikut. kurva pembakaran dengan tinggi pasir 5 cm memerlukan waktu penurunan temperatur selama 45 menit. Kondisi lama waktu karma di pengaruhi oleh massa pasir dan distribusi suhu yang merata dan baik oleh pasir dengan ketinggian 5 cm. namun untuk pencapaian suhu maksimal pada kondisi kerja terjadi pada tinggi pasir 4 cm yaitu 1036 °C, hal ini terjadi karena percampuran bahan bakar dengan udara atau proses pemasukan bahan bakar keruang bakar tidak terjadi penumpukan dan proses gejolak fluidisasi cenderung terjadi dengan sempurna.

3.2.7 Temperatur T₂ pada variasi pasir terhadap waktu

Dari Gambar 12 diatas dapat dilihat kenaikan temperatur pada titik termokopel T₂ dari ketiga ketinggian pasir.



Gambar 12. Grafik temperatur t2 vs waktu

Pada tinggi pasir 3 cm temperatur tertinggi mencapai 1031 °C, pada ketinggian pasir 4 cm temperatur tertinggi mmencapai 1036 °C dan pada tinggi pasir 5 cm temperatur mencapai 1021 °C. perbedaan puncak tertinggi temperatur dikarenakan pada suplay udara lebih dan variasi ketinggian pasir yang mengakibatkan massa dari pasir bertambah.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dalam perencanaan alat fluidized bed combustion ini adalah sebagai berikut:

1. Jumlah lubang dan diameter lubang distributor jenis perforated plat sangat baik dalam mendistribusikan aliran udara ke hamparan pasir untuk proses fluidisasi.
2. Pada masing-masing ketinggian pasir memiliki beberapa perbedaan pada jangka waktu pemanasan dan jangka waktu operasi kerja pada pembakaran, hal ini dikarenakan faktor perbedaan ketinggian pasir. Perbedaan akibat ketinggian pasir dapat dilihat pada tinggi pasir 3 cm membutuhkan waktu 16 menit untuk melakukan proses pemanasan awal, 4 cm tinggi pasir membutuhkan waktu 18 menit untuk melakukan pemanasan awal dan tinggi pasir 5 cm membutuhkan 21 menit untuk melakukan proses pemanasan awal. Jadi dapat dilihat, semakin tinggi pasir maka proses pemanasan awal lebih lama namun proses penyimpanan panas pada bed lebih baik.
3. Pada saat temperatur kerja pada masing-masing ketinggian pasir memiliki karakter perbedaan temperatur yang beragam, hal ini dapat dilihat pada pengujian pada masing-masing ketinggian pasir, pada tinggi pasir 4 cm memiliki temperatur tertinggi dibandingkan pada tinggi pasir yang lain dengan suhu yaitu 1036°C sedangkan pada tinggi pasir 3 cm yaitu temperatur sebesar 1031°C dan pada tinggi pasir 5 cm sebesar 1021°C perbedaan ini dicapai karena pada tinggi pasir 4 cm pada proses maupun mixing, suplay udara yang dibutuhkan Dalam pembakaran sesuai akan kebutuhan.

Daftar Pustaka

- Fajarini, Indah, Muhammad Ihlashul Amal, Shanty Oktavilia, and Sri Utami. 2021. "Peningkatan Perekonomian Melalui Daur Ulang Plastik Dan Minyak Jelantah." In *Prosiding Seminar Nasional UNIMUS*, 4:2608–18.
- Ratnaningsih, Ratnaningsih, Dwi Indrawati, Astri Rinanti, and Asih Wijayanti. 2020. "Training for Fasilitator (Tff) Desa Bersih Dan Pengelolaan Sampah 3R (Bank Sampah) Di Desa Cibodas, Kecamatan Pasirjambu, Kabupaten Bandung." *Jurnal AKAL : Abdimas Dan Kearifan Lokal* 1 (1): 58–68. <https://doi.org/10.25105/akal.v1i1.7751>.
- Redaksi Medialingkungan.Com. 2014. "Sebanyak 130.000 Ton Sampah Perhari Diproduksi Oleh Indonesia." 2014. <https://medialingkungan.com/sebanyak-130-000-ton-sampah-perhari-diproduksi-oleh-indonesia/>.
- Sayuti, S. n.d. "Permasalahan Sampah Dan Solusinya."
- Septian. n.d. "Optimasi Operasional Fluidized Bed Combustor Untuk Pembakaran Ranting Pohon = Optimization of Fluidized Bed Combustor Operation for Wood Branch Combustion."
- Yusrizal, and Munzir Qadri. 2017. "Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kapasitas 1000 WATT Dengan Proses Insinerasi." *Semdi Unaya* 2017 (November): 212–22.
- , et al. 2019. "Desain Insinerator Menggunakan Bahan Bakar Cangkang Kelapa Sawit." *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi* 2 (1): 34–43. <https://doi.org/10.30596/rmme.v2i1.3067>.