

# Energy Engineering for Agricultural Drying System based on Diesel Engine Exhaust Gases Integrated with Rice Milling Unit

Nasruddin Aziz<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin – Makassar

\*Corresponding author: nas.unhas@gmail.com

**Abstract.** This research aimed to design a heat exchanger based on the diesel engine exhaust gases integrated with the rice milling unit for drying agricultural products. The exhaust gas is used was derived from 6D16 diesel engine of 120 HP as a power generator with the capacity of 2 ton/hour. The exhaust gas temperature reached 357°C with the mass flow rate of 636 kg/hour at ambient air temperatures of 32°C and the relative humidity of 84%. The experiment test was conducted using a flat bed drying with the capacity of 174 kg of paddy, Ciherang variety grain with 24.56% moisture content, and used the drying air temperature of 53°C and the air mass flow rate of 706 kg/hour. The estimated result indicated that the exhaust gas energy was capable of drying 2 tons of harvested dry paddy at the drying air temperature of 53°C, and the mass flow rate of 6,600 kg/hour in 8 hours. At the time when the diesel engine operates on medium speed without the milling load, the diesel engine produced the exhaust gas temperature was 128°C and the mass flow rate was 403 kg/hour. The paddy with the moisture content of 13.67% as the result of the drying process was obtained after the drying process of 5 hours 11 minutes.

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan merancang penukar kalor berbasis gas buang mesin diesel yang terintegrasi dengan unit penggilingan padi untuk pengeringan hasil pertanian. Gas buang yang digunakan berasal dari mesin diesel kapasitas 120 HP tipe 6D16 sebagai pembangkit daya untuk unit penggilingan dengan kapasitas 2 ton/jam. Suhu gas buang mencapai 357°C dengan laju aliran massa 636 kg/jam pada suhu udara 32°C dan kelembaban relatif 84%. Pengujian pengeringan dilakukan menggunakan pengering tipe bak berkapasitas 174 kg gabah *varietas Ciherang* dengan kadar air 24,56%, menggunakan suhu udara pengering 53°C dan laju aliran massa udara 706 kg/jam. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa energi gas buang mampu untuk mengeringkan 2 ton gabah kering panen pada temperatur udara pengering 53°C dan laju aliran massa udara pengering 6.600 kg/jam selama 8 jam. Pada saat pengujian, mesin diesel beroperasi pada putaran sedang dan tanpa beban penggilingan, menghasilkan suhu gas buang 128°C dan laju aliran massa 403 kg/jam. Gabah hasil pengeringan dengan kadar air 13,67% diperoleh setelah melalui proses pengeringan selama 5 jam 11 menit.

**Keywords:** Penukar kalor, Gas buang, Temperatur, Pengeringan

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

## Pendahuluan

Energi mendorong pertumbuhan ekonomi dan pembangunan sosial di seluruh dunia, untuk itu agar kelangsungan pembangunan bidang energi tetap terjamin, kita harus berusaha melakukan upaya untuk memenuhi keamanan energi jangka panjang, keterjangkauan dan keberlanjutan melalui tujuan strategis dan melakukan pendekatan melalui inovasi teknologi di berbagai bidang.

Sampai saat ini, Indonesia masih menghadapi persoalan untuk mencapai target pembangunan bidang energi. Ketergantungan terhadap energi fosil, terutama minyak bumi dalam pemenuhan konsumsi di dalam negeri masih tinggi, yaitu

sebesar 96% (minyak bumi 48%, gas 18%, dan batubara 30%) dari total konsumsi energi nasional, sementara upaya untuk memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan belum dapat berjalan sebagaimana yang direncanakan. Tingginya konsumsi energi fosil tersebut diakibatkan oleh subsidi, sehingga harga energi menjadi murah dan masyarakat cenderung boros dalam menggunakan energi. Di sisi lain, Indonesia menghadapi penurunan cadangan energi fosil dan belum dapat diimbangi dengan peningkatan penemuan cadangan baru [1].

Sektor industri, pertanian dan kendaraan bermotor adalah pengguna terbesar energi fosil, baik berupa bahan bakar minyak diesel atau bensin. Hingga saat

ini mesin diesel masih merupakan mesin yang masih banyak dipergunakan untuk berbagai penggunaan pembangkitan daya untuk industri dan transportasi karena mudah pengoperasiannya, dapat menyesuaikan dengan kebutuhan beban dan pada umumnya memiliki kehandalan yang tinggi serta tidak memerlukan tempat yang luas.

Sebagai salah satu sektor industri pangan, pengoperasian mesin penggiling padi pada umumnya menggunakan mesin diesel berbahan bakar minyak sebagai energi penggerakannya. Hal ini berdampak pada peningkatan pemakaian bahan bakar minyak dan kian maraknya isu global warming yang berkaitan dengan emisi gas buang yang dikeluarkan oleh mesin-mesin berbahan bakar minyak.

Emisi gas buang yang mencemari lingkungan memiliki suhu yang cukup tinggi masih berpotensi untuk dapat dimanfaatkan kembali untuk berbagai keperluan misalnya membangkitkan uap untuk pembangkit listrik, pengeringan, pemanas ruangan atau untuk penggunaan lainnya. Jika panas yang terbuang ini dapat dimanfaatkan kembali maka selain mengurangi pencemaran lingkungan juga dapat menghemat pemakaian bahan bakar minyak.

Untuk memanfaatkan emisi panas tersebut, diperlukan sebuah peralatan yang dapat mentransfer energi panas dari gas buang yang masih mengandung polutan menjadi udara panas yang bersih. Perangkat yang dapat melakukan transfer panas ini dinamakan penukar kalor (heat exchanger) yang dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran untuk berbagai penggunaan. Pemanfaatan dua atau lebih luaran energi dari satu sumber energi melalui alat penukar kalor merupakan satu sistem terintegrasi yang dinamakan kogenerasi (*cogeneration*).

Dengan penerapan teknologi kogenerasi pada sektor industri, khususnya pada industri penggilingan padi untuk kebutuhan pengeringan gabah, masalah yang dihadapi petani dan pengusaha penggilingan padi berupa sarana pengeringan yang bebas cuaca dan murah dapat teratasi, disamping itu beban anggaran pemerintah dalam hal penyediaan tenaga listrik nasional akan dipikul bersama sektor swasta, serta terjadi penghematan penggunaan sumber-sumber energi fosil seperti minyak dan batu bara, yang secara langsung berperan aktif dalam penurunan

emisi gas-gas rumah kaca untuk turut berpartisipasi menanggulangi pemanasan global.

Masalah utama yang dihadapi petani pada musim hujan adalah proses pengeringan gabah hasil panen. Kadar air awal yang tinggi dan cuaca yang tidak mendukung sering merupakan kendala yang sangat sulit diatasi. Petani terpaksa menanggung resiko dengan menjual hasil panennya berupa gabah basah atau gabah kering panen dengan kualitas gabah dianggap rendah, akibatnya menerima harga jual yang rendah. Oleh karena itu petani harus tahu cara penanganan pascapanen yang baik, salah satunya adalah melalui teknologi pengeringan.

Melimpahnya jumlah padi hasil panen dalam waktu bersamaan oleh pengoperasian combine rice harvester bila tidak dikelola dengan baik dapat mengakibatkan rendahnya kualitas gabah. Kerusakan gabah hasil panen yang masih memiliki kandungan air tinggi akibat tidak segera dikeringkan, sangat mungkin terjadi karena belum diimbangi dengan peningkatan kapasitas mesin pengering. Umumnya gabah hasil panen dimasukkan ke dalam karung untuk disimpan sembari menunggu proses pengeringan. Menumpuknya jumlah gabah dalam rentang waktu yang cukup lama sebaiknya didukung dengan sistem pengering gabah yang dapat dioperasikan dengan murah dan dalam jumlah yang cukup agar mampu menampung seluruh hasil panen hingga batas waktu yang dipersyaratkan.

Kadar air gabah hasil panen sangat bervariasi antara 18% – 25%, bahkan dalam beberapa kondisi dapat lebih besar, bila tidak segera dikeringkan akan menurunkan kualitas gabah. Pengeringan dilakukan untuk mengurangi kadar air sampai sekitar 14% sehingga gabah dapat disimpan lebih lama agar daya kecambah dapat dipertahankan, mutu gabah dapat dipertahankan agar tetap baik, memudahkan proses penggilingan dan untuk meningkatkan rendemen serta menghasilkan kualitas beras gilingan yang baik. Penggilingan padi pada kadar air sekitar 14% dapat memberikan keuntungan, baik terhadap mutu beras yang dihasilkan maupun nilai jualnya [2].

Pengeringan merupakan salah satu kegiatan penting pada tahapan pascapanen untuk mencapai kadar air gabah yang cukup aman dari peluang berkembangbiaknya serangga dan mikroorganisme seperti jamur dan bakteri. Durasi pengeringan dapat

dipercepat seiring dengan pengaturan suhu pemanasan hingga level tertentu, juga dengan melakukan penambahan luas area permukaan pengeringan dan pengaturan suplai aliran udara pengering dalam jumlah yang cukup.

Meskipun penggunaan pengering mekanis diyakini dapat meningkatkan mutu gabah, tetapi pengembangan mesin pengering masih menghadapi masalah, salah satunya adalah karena harga mesin pengering cukup mahal, sehingga petani merasa enggan untuk mengeluarkan biaya pengeringan termasuk biaya angkutan gabah ke dan dari lokasi pengeringan.

Oleh sebab itu penggunaan mesin pengering sebaiknya terintegrasi dengan unit penggilingan padi serta menggunakan energi yang murah dan efisien agar pengoperasiannya lebih efektif dan dapat menekan biaya operasional. Petani cukup sekali mengangkut gabah ke tempat pengeringan untuk langsung digiling atau bahkan langsung dapat menjual gabah kering panen atau berasnya.

Limbah panas gas buang yang dihasilkan dari mesin diesel pembangkit listrik pada unit penggilingan padi merupakan potensi energi yang dapat dimanfaatkan yang selama ini terbuang ke udara sekitar dan mencemari lingkungan karena mengandung polutan berupa zat-zat kimia berbahaya dan bersuhu tinggi. Bila energi ini dapat dikelola dengan baik, masih berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber panas untuk berbagai kebutuhan, termasuk sebagai sumber udara pengering pada unit pengeringan gabah. Pemanfaatan panas yang bersumber dari gas buang mesin diesel pada unit penggilingan padi, dapat berlangsung selama mesin beroperasi secara terintegrasi dengan waktu operasi unit penggilingan padi.

Perbedaan rentang waktu operasi antara proses penggilingan padi dan durasi waktu proses pengeringan gabah dapat terjadi akibat terbatasnya stok gabah kering giling atau karena penyebab lain, dapat mengakibatkan proses pengeringan terhenti sebelum kadar air yang ditargetkan tercapai. Bila hal ini terjadi, maka proses pengeringan dapat dilanjutkan dengan menggunakan sumber panas lain berupa tungku pemanas (*burner*) yang dapat dioperasikan dengan menggunakan bahan bakar alternatif misalnya solar, LPG, atau biomassa. Pemilihan bahan bakar alternatif dilakukan

berdasarkan pertimbangan biaya operasional, tingkat kerumitan sistem peralatan dan ramah lingkungan.

Sinkronisasi pengeringan menggunakan dua jenis bahan bakar secara bergantian untuk kelanjutan proses pengeringan, dapat disebut sistem pengeringan hibrid. Energi yang dihasilkan oleh tungku pemanas akan difungsikan bila mesin diesel berhenti beroperasi dan proses pengeringan masih berlangsung, dengan demikian pasokan energi ke unit pengering gabah diharapkan akan kontinyu.

Pengeringan hibrid gas buang dan tungku pemanas yang terintegrasi dalam satu sistem Pusat Pemrosesan Padi atau *Rice Processing Centre* (RPC), diharapkan dapat menaikkan efisiensi sistem berupa penurunan biaya pengeringan dan biaya pengangkutan serta lebih ramah lingkungan.

Penggunaan *combine harvester* memberikan dampak positif dan negatif. Dampak positif yang dihasilkan adalah dapat mengatasi kekurangan tenaga panen yang dirasakan petani sejak puluhan tahun yang lalu upah panen lebih murah, waktu panen lebih cepat, bahkan diperkirakan akan meningkatkan Indeks Pertanaman 250-300 persen, apabila waktu pengolahan tanah dan penanaman dapat dipersingkat. Dampak negatif yang dapat ditimbulkan adalah menghilangkan kesempatan kerja tenaga panen, sementara dampak lain yang juga terjadi adalah perubahan struktur tanah sawah karena massa mesin panen yang berat dan kemungkinan tingkat kehilangan gabah.

Di beberapa lokasi pertanian padi di Indonesia, penggunaan *combine rice harvester* sudah banyak digunakan. Perontokan dengan pedal thresher sudah tidak banyak digunakan karena kapasitas perontokan yang rendah, kapasitas hasil perontokan hampir sama dengan cara dibanting atau gebot. Perontokan telah mulai beralih ke perontokan dengan menggunakan *combine rice harvester*. Penggunaan *combine rice harvester* mulai berkembang karena kapasitas perontokan yang lebih besar dan gabah hasil perontokan yang lebih bersih. Berkembangnya *combine rice harvester* juga dipicu oleh terbatasnya tenaga kerja panen, karena adanya penyerapan tenaga kerja yang lebih baik di luar sektor pertanian,

Permasalahan yang dihadapi petani dalam pengoperasian *combine rice harvester* adalah

kualitas gabah cenderung rendah, karena gabah memiliki kandungan air tinggi karena gabah langsung dimasukkan ke dalam karung. Kondisi ini membuat gabah harus segera diangkut ke tempat pengeringan atau penggilingan. Menumpuknya jumlah gabah dalam rentang waktu yang pendek sebaiknya didukung dengan system pengering gabah (*dryer*) yang dapat dioperasikan dengan murah dalam jumlah banyak agar mampu menampung seluruh hasil panen dalam waktu yang bersamaan.

Kadar air gabah hasil panen sangat bervariasi antara 18 – 25%, bahkan dalam beberapa kasus dapat lebih besar. Pengeringan dilakukan untuk mengurangi kadar air sampai sekitar 14% sehingga gabah dapat disimpan lebih lama, daya kecambah dapat dipertahankan, mutu gabah dapat dipertahankan agar tetap baik, memudahkan proses penggilingan dan untuk meningkatkan rendemen serta menghasilkan kualitas beras gilingan yang baik. Kadar air gabah yang terlalu tinggi menghasilkan tekstur yang lunak, sehingga menyulitkan saat proses pengupasan kulit dan dapat menyebabkan kerusakan, berupa pecah atau hancurnya beras, menyebabkan turunnya harga gabah.

Masalah utama yang dihadapi petani apalagi saat musim hujan adalah proses pengeringan gabah hasil panen. Kadar air awal yang tinggi dan cuaca yang tidak mendukung sering merupakan kendala yang sangat sulit diatasi. Petani terpaksa menjual hasil panen berupa gabah basah atau gabah kering panen yang berkualitas rendah dengan harga yang sangat murah.

Pengeringan merupakan salah satu kegiatan penting pada tahapan pascapanen untuk mencapai kadar air gabah yang cukup aman dari peluang berkembang biaknya serangga dan mikroorganisme seperti jamur dan bakteri. Durasi pengeringan dapat dipercepat seiring dengan pengaturan peningkatan suhu pemanasan hingga level tertentu, penambahan luas area permukaan pengeringan dan jumlah suplai aliran udara yang cukup.

Pengeringan mekanis merupakan solusi yang tepat untuk memperoleh hasil gabah kering giling yang tepat, karena durasi waktu pengeringannya dapat ditentukan, kondisi gabah yang dijemur lebih bersih karena terlindung dari

debu, zat kontaminan dan binatang, tidak terpengaruh oleh kondisi cuaca, serta dapat dioperasikan setiap saat. Energi untuk proses pengeringan dapat diperoleh dari beberapa sumber yaitu pembakaran bahan bakar minyak, tenaga listrik dari PLN atau generator listrik, energi matahari, bahan bakar gas atau biomassa dan sumber-sumber lainnya. Kesalahan dalam pemilihan dan penggunaan sumber energi dapat meningkatkan biaya produksi dan menurunkan efisiensi.

### Metode Penelitian

Secara garis besar, rancangan pelaksanaan disusun dengan tahapan sebagai berikut:

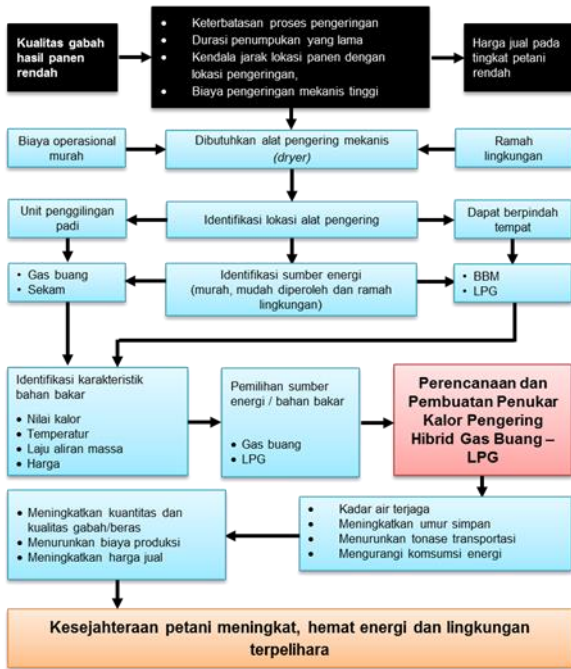
1. Identifikasi daya mesin diesel yang digunakan oleh penggilingan padi sebagai sumber energinya.
2. Pengumpulan data berupa, suhu gas buang dan laju aliran massa gas buang dari mesin diesel yang digunakan.
3. Mendisain penukar kalor sesuai dengan hasil pengukuran potensi gas buang dari mesin diesel yang digunakan.
4. Menganalisis karakteristik dan potensi bahan bakar yang akan digunakan sebagai bahan bakar tungku pemanas (*burner*) hibrid dengan gas buang.
5. Menentukan tipe dan spesifikasi *burner* yang bersesuaian dengan kapasitas pengeringan gabah energi gas buang.
6. Mendisain sistem pengering gabah hibrid berbasis gas buang dan *burner* yang terintegrasi dengan unit penggilingan padi.

Hasil pengukuran karakteristik gas buang, kenaikan suhu gas buang saat mesin diesel mulai operasi hingga mencapai suhu stabil pada suhu 357°C membutuhkan durasi waktu 7 menit, pada pembebanan mesin mencapai 80%. Hasil pengukuran laju aliran massa rata-rata gas buang untuk mesin diesel 6D16 pada pembebanan 80% dari berbagai variasi suhu gas buang adalah 636 kg/jam.

Penggabungan dua sumber energi dalam satu sistem pengering, gas buang dan LPG, merupakan suatu bentuk konservasi energi untuk menghasilkan

sistem pengeringan yang terintegrasi dengan unit penggilingan padi biaya murah serta ramah lingkungan. Sistem ini dapat dinamakan pengering gabah hibrid gas buang dan LPG.

Gambar 1. menunjukkan kerangka konseptual penelitian dari sistem pengering gabah hibrid gas buang dan LPG yang terintegrasi dengan unit penggilingan padi.

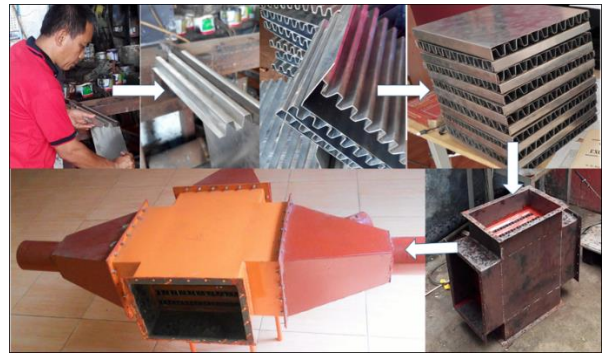


Gambar 1 Kerangka Konseptual

Konstruksi penukar kalor dibuat berdasarkan hasil perhitungan yaitu berukuran panjang 0,3 m, lebar 0,3 m dan tinggi 0,2 m, menggunakan fin yang terbuat dari lembaran aluminium dengan ketebalan pelat 0,8 mm.

Fabrikasi fin dilakukan secara manual satu persatu hingga menghasilkan bentuk dan dimensi sesuai dengan plain plate-fin surface 2.0 [4]. Proses fabrikasi dimulai dengan pemotongan lembaran pelat aluminium 0,8 mm kemudian dibentuk hingga menghasilkan bentuk akhir berupa susunan fin dengan arah bersilangan (*cross flow*). Susunan fin kemudian ditutup oleh *cover* yang terbuat dari pelat baja, seperti ditampilkan pada Gambar 2. Penukar kalor dibuat sedemikian rupa tanpa kebocoran antara kedua sisi fluida gas, agar dapat menghasilkan udara panas yang bersih, bebas dari asap, debu dan partikel untuk menghindari

kontaminasi gas buang dengan bahan pangan yang dikeringkan.



Gambar 2. Fabrikasi dan konstruksi penukar kalor

Pengujian karakteristik penukar kalor skala lapangan dilaksanakan di lokasi penggilingan padi Bola Ase, Desa Batu Lappa, Kabupaten Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan, dengan memanfaatkan energi panas dari gas buang mesin diesel 6D16 yang dipergunakan sebagai tenaga penggerak pada mesin unit pengilingan padi tersebut. Instalasi pengujian karakteristik penukar kalor terdiri dari beberapa komponen utama antara lain mesin diesel, penukar kalor dan blower sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.



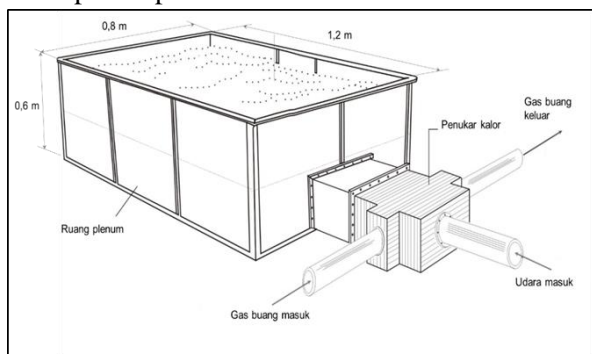
Gambar 3. Instalasi peralatan pengujian penukar kalor.

Saat pelaksanaan pengujian karakteristik penukar kalor, mesin diesel 6D16 beroperasi pada putaran sedang dan tanpa beban penggilingan. Dari hasil pengukuran diperoleh besaran suhu maksimum gas buang dalam keadaan stabil adalah 128°C dengan laju aliran massa 403 kg/jam. Pengujian pertama adalah mengoperasikan penukar kalor diawali pada saat mesin diesel 6D16 mulai beroperasi pada putaran dan beban konstan hingga mencapai suhu gas buang maksimum dan stabil. Laju aliran massa udara sebesar 1.122 kg/jam, suhu

udara lingkungan sekitar pada saat pengujian adalah 32,23°C. Saat pengujian dimulai, suhu awal gas buang sebesar 70°C hingga mencapai maksimum dan stabil pada 128oC berlangsung selama 12 menit. Pada kondisi tersebut diperoleh variasi suhu udara pengering keluar penukar kalor pada rentang antara 37,75°C hingga 48,50°C

Pengujian berikutnya adalah pengujian dengan variasi laju aliran massa udara pengering pada saat suhu gas buang maksimum tercapai dan relatif stabil pada suhu 128°C. Hasil pengukuran menunjukkan kenaikan suhu pengering berbanding terbalik dengan penambahan laju aliran massa udara. Suhu udara pengering 53°C untuk pengujian pengeringan diperoleh pada laju aliran massa udara 706 kg/jam. Skala pengujian pengeringan, ditetapkan karakteristik udara pengering sesuai dengan hasil pengujian penukar kalor yaitu pada suhu pengeringan 53°C dan laju aliran massa udara pengering 706 kg/jam. Diasumsikan kadar air awal gabah adalah 25% diturunkan hingga 14%, durasi waktu pengeringan direncanakan selama 8 jam. Kondisi udara lingkungan sekitar saat pengujian berlangsung diasumsikan pada suhu 30°C, dan kelembaban relatif udara 82 %.

Dimensi bak pengering dibuat sesuai dengan perhitungan kapasitas pengering skala pengujian sebesar 174 kg gabah basah atau setara dengan volume gabah 0,3 m<sup>3</sup>. Diagram skematik dan dimensi bak pengering gabah berbasis gas buang ditampilkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Diagram skematik dan dimensi bak pengering gabah berbasis gas buang

Instalasi pengujian pengeringan gabah terdiri dari beberapa komponen utama antara lain bak pengering yang dilengkapi dengan blower, burner LPG dan beberapa perangkat alat ukur berupa moisture tester, thermocouple dan timer seperti ditampilkan pada Gambar 5.

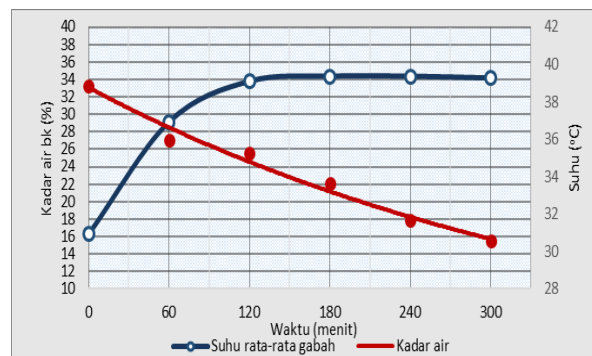


**Gambar 5.** Instalasi peralatan pengujian pengeringan gabah

Pengujian pengeringan menggunakan gabah basah varietas Ciherang dengan kadar air awal rata-rata 24,96%. Proses pengeringan dilaksanakan di penggilingan padi Bola Ase, Desa Batulappa, Kecamatan Watang Pulu, Kabupaten Sidenreng Rappang pada tanggal 14 Februari 2016 mulai pukul 08.05. Suhu udara lingkungan sekitar pada saat pengujian adalah 32,23°C dan kelembaban relatif udara 84%

### Hasil dan Pembahasan

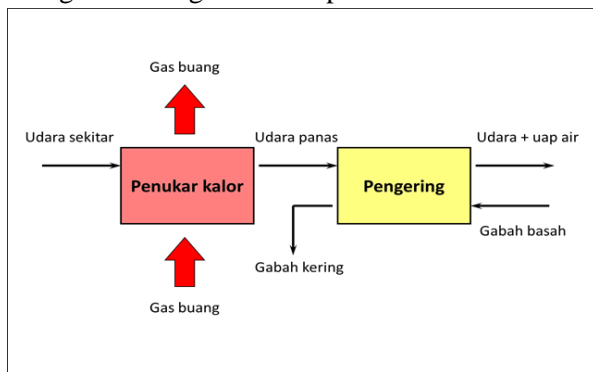
Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar air gabah mencapai rata-rata 13,46% bb setelah dikeringkan selama 5 jam 11 menit atau 5,18 jam. Dari hasil estimasi berdasarkan kondisi udara aktual, diperoleh durasi pengeringan selama 4 jam 54 menit. Laju pengeringan gabah adalah 2%/jam sesuai dengan laju pengeringan maksimum yang dipersyaratkan adalah 2%/jam untuk tujuan konsumsi [5]. Profil laju pengeringan gabah terhadap karakteristik suhu rata-rata gabah selama proses pengeringan berlangsung ditampilkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Profil laju pengeringan gabah terhadap karakteristik suhu rata-rata gabah selama proses pengeringan berlangsung.

## Analisis Energi

Dalam sistem pengering gabah berbasis gas buang, pengelolaan energi terdistribusi dalam satu sistem kesetimbangan energi yaitu, energi utama yang bersumber dari gas buang sebagai acuan untuk membangkitkan energi pada penukar kalor untuk selanjutnya dimanfaatkan sebagai energi untuk mengeringkan gabah dalam bak pengering sebagaimana digambarkan pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Kesetimbangan energi sistem pengering gas buang

### Energi Pengeringan:

Energi pengeringan terdiri dari kalor udara pengeringan sebesar 76.539 kJ dan kalor pengeringan gabah sebesar 57.850 kJ, efisiensi pengeringan = 75,6%

### Energi Gas Buang:

Kalor yang dilepas oleh gas buang adalah sebesar 78.902 kJ, efisiensi penukar kalor = 97%

### Efisiensi Sistem Pengeringan

Dari hasil perhitungan energi dan efisiensi di atas, diperoleh efisiensi sistem pengeringan:

$$\eta_{\text{sistem pengeringan}} = \eta_{\text{pengeringan}} \times \eta_{\text{penukar kalor}} = 75,6\% \times 97\% = 73,32\%$$

## Kesimpulan

Dari hasil pengukuran, perhitungan, disain dan pengujian penukar kalor dan tungku LPG untuk pengeringan gabah diperoleh beberapa kesimpulan antara lain:

1. Gas buang mesin diesel 6D16 dengan daya 120 HP yang dipergunakan sebagai penggerak mesin penggilingan padi, mengandung potensi energi sebesar 213.025 kJ/jam, merupakan sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk pengeringan gabah yang terintegrasi dengan unit penggilingan padi.
2. Daya yang dibutuhkan untuk mengeringkan 1 ton gabah dari kadar air 25% hingga 14% basis basah

dengan durasi waktu pengeringan 8 jam pada kondisi udara lingkungan sekitar 30oC dan kelembaban relatif udara 82% adalah 76.399 kJ, dengan demikian energi gas buang mesin diesel 6D16 mampu untuk mengeringkan gabah sebanyak 2 ton dengan menggunakan penukar kalor kompak berbasis gas buang sebagai suatu sistem kogenerasi yang terintegrasi dengan unit penggilingan padi.

3. Disain penukar kalor dibuat sesuai dengan karakteristik gas buang mesin diesel 6D16 adalah penukar kalor kompak (compact heat exchanger) berukuran panjang lebar dan tinggi masing-masing 0,3 m, 0,3 m dan 0,2 m, menggunakan sirip berbentuk plain fin surfaces 2.0 terbuat dari material aluminium dengan ketebalan 0,8 mm dengan berat 18 kg. Pada saat mesin diesel berhenti beroperasi dengan alasan tertentu sementara proses pengeringan belum berakhir dan masih akan dilanjutkan, maka digunakan tungku pemanas LPG tipe FBR gas burner tipe X1 sebagai energi hybrid yang dapat beroperasi pada daya 23 kW hingga 58 kW, sesuai dengan karakteristik energi panas yang dihasilkan oleh gas buang.

## Referensi

- [1] Dewan Energi Nasional, 2014
- [2] Rachmat, R. 2012. Model Penggilingan Padi Terpadu untuk Meningkatkan Nilai Tambah. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian, Departemen Pertanian Republik Indonesia, Bogor: Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian, pp. 99 - 111.
- [3] Raharjo, B.Hutapea, Y., Soehendi, R., 2011. Pengering Gabah Berbahan Bakar Sekam Antisipasi Panen pada Musim Hujan. Departemen Pertanian, Jakarta: Badan Litbang Pertanian,
- [4] Kays, W. M. and London A. L. Compact, 1984. Heat Exchanger. 3rd. New York: McGraw-Hill.
- [5] Sutrisno, M, dan Eko Ananto, 1994. "Perancangan dan Pengujian Pengering Padi Kapasitas Menengah Bahan Bakar Sekam "ABC". pp. 114-124..