

Integrasi Teknologi Pengering Surya dan Tungku Gasifikasi Biomassa Untuk Peningkatan Kualitas Beras

Lukas Kano Mangalla ^{1)*}, Agustinus Lolok ²⁾, Yulius B. Pasolon ³⁾

1) Kanazawa University, Jepang,

2) Jurusan Teknik Elektro Universitas Hasanuddin

3) United Graduate School Tokyo University of Agriculture Jepang

Naskah diterima 02 08 2022; direvisi 04 05 2023; disetujui 09 05 2023

doi: <https://doi.org/10.24843/JEM.2023.v16.i01.p06>

Abstrak

Teknologi pengeringan pascapanen produksi pertanian sangat penting dikembangkan untuk menjamin kualitas dan penyimpanan bahan. Pengembangan teknologi pengeringan energi matahari masih terbatas oleh kondisi alami sehingga tidak berlangsung kontinu. Karena itu pengeringan ini perlu diintegrasikan dengan unit sumber energi lainnya seperti biomassa, angin dan lain-lain. Kajian ini menganalisis secara comprehensive kedua sumber energy yang potensial dikembangkan di Desa Pombulaa Jaya Kecamatan Konda Sulawesi Tenggara sebagai daerah yang memiliki lahan pertanian khususnya padi sawah yang cukup luas. Dalam artikel ini disajikan tinjauan sistematis dari konsep dasar teknologi pengeringan matahari yang dikombinasikan dengan pemanas energi biomassa limbah panen untuk pengeringan pasca panen khususnya gabah padi sawah. Dilakukan pula pengujian distribusi perpindahan panas dalam ruang pengeringan dengan backup biomassa serta mendiskusikan kualitas produk pengeringan yang dipengaruhi oleh temperature, kandungan air bahan (moisture) dan ketebalan lapisan gabah. Pengembangan desain dan proses optimalisasi distribusi panas matahari sangat penting untuk meningkatkan kualitas produksi pertanian pasca panen. Hasil kajian ini merupakan bagian dari kegiatan Program *Matching Fund* tahun 2022

Kata kunci: Kualitas produksi gabah, Pengering matahari, Efisiensi thermal dan Biomassa

Abstract

Agricultural Products postharvest drying technology is very important to be developed to improve production quality and storage. Solar dryers utilize solar radiation for producing hot air inside the dryer cabinet to dry various food and agricultural products. The limitation of solar dryers is their inability to achieve continuous drying during off sunshine hours. Thus, solar dryers are integrated with other alternative energy sources such as biomass. This study comprehensively analyzes the two potential energy sources to be developed in the Pombulaa Jaya village Konda District of Southeast Sulawesi that has a fairly large area of agricultural land. Solar energy can be utilized optimally through the diversification of simple drying technology through a combination with other energy sources such as biomass. This article presents the systematic review of basic concepts of solar drying technology combined with biomass energy heating for drying rice grains, testing heat transfer and distribution inside drying chamber and discussing the quality of drying products which are affected by temperature, moisture content and paddy layer. Design and optimization of solar heating distribution process is very important in improving postharvest agricultural production quality. This work was part of Matching Fund Program 2022

Keywords: Agricultural Biomass, grain rice quality product, Solar dryer, and Thermal efficiency

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi yang terus meningkat di berbagai kebutuhan mendorong para pakar dibidang energi untuk mengembangkan sumber energi baru dan terbarukan. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari dampak pemakaian bahan bakar fosil yang terbatas, mahal dan menimbulkan polusi pada lingkungan [1]. Pemerintah Indonesia saat ini telah mendukung mengembangkan teknologi dan industri Energy terbarukan yang sekarang ini baru mencapai sekitar 3% dari total produksi energy [2], [3]. Salah satu potensi energy baru dan terbarukan yang potensial dikembangkan dalam bidang pertanian khususnya untuk pengeringan pasca panen adalah teknologi energi matahari dan biomassa. Kedua potensi energy ini sangat melimpah dan dapat digunakan secara sederhana untuk kebutuhan pengeringan produk pertanian pasca panen.

Penanganan pengeringan produk pertanian dan perkebunan menjadi tantangan tersendiri bagi masyarakat petani. Pengeringan merupakan salah satu hal penting dalam mempertahankan bahan

makanan dengan mengeluarkan kandungan air dari bahan melalui proses pemanasan. Pengeringan produk mutlak dilakukan untuk menjaga kualitas dan keamanan produksi dengan menurunkan kadar air berkisar 12-14% [4]. Secara konvensional pengeringan produk pertanian dilakukan dengan menjemur dibawah matahari langsung selama 3-7 hari, namun metode seperti ini kurang efektif karena banyak kerugian produk, terjadi pengotoran dan hasil pengeringan ini tidak seragam sehingga mengurangi kualitas produk [5]. Selain itu pengeringan metode ini sangat tergantung pada kondisi matahari, sehingga perlu dikembangkan metode pengeringan yang memanfaatkan energi matahari yang *diback-up* dengan sumber energy lainnya seperti energi biomassa. Teknologi konversi energy sangat dibutuhkan dalam mengoptimalkan kualitas produk pertanian pasca panen.

Limbah pertanian merupakan salah satu sumber biomassa yang sangat besar untuk dapat dikelola secara efektif untuk kebutuhan energi di masyarakat khususnya di perdesaan. Bahan ini didominasi oleh kandungan karbon, oksigen dan hydrogen. Tabel

berikut ini memperlihatkan komposisi penyusun biomassa dan kandungan energinya.

Tabel 1. Proximate dan ultimate analysis beberapa biomassa

Sample	Proximate analysis (wt.%,dry basis)			Ultimate analysis (wt.%,dry basis)					High-Heating Value (MJ/KG)
	Ash	Volatili e	Fixed Carbon	C	H	N	S	O	
Pine	0.2	86.3	13.5	45.2	6.3	0.1	0	48.2	20.0
Chestnut	0.4	82.1	17.5	45.5	5.7	0.2	0	48.2	19.1
Eucalyptus	0.5	84.6	14.9	46.8	6.1	0.1	0	46.5	19.5
Cellulose residue	1.3	87.7	11.0	41.0	6.4	0.3	0	51.0	17.6
Coffea husks	4.5	79.4	16.1	43.2	6.3	2.6	0.2	43.2	20.1
Grape waste	7.5	67.9	24.6	50.0	6.0	2.0	0.1	34.4	22.1
Almond shells	1.2	79.3	19.5	49.2	6.0	0.2	0	43.4	19.7
Olive stones	0.6	81.4	18.0	50.6	6.1	0.1	0	42.6	19.0
Olive Oil waste	7.1	77.3	15.7	48.9	6.2	1.4	0.2	36.2	21.6
Pet coke	0.6	12.6	86.8	87.2	4.1	1.5	5.4	1.2	35.2

(Sumber: Asian Biomass Handbook [6])

Sumber energy ini sangat murah dan melimpah di masyarakat sehingga dapat dimanfaatkan untuk pengeringan produk. Salah satu hambatan dalam pemanfaatan energy ini adalah kandungan uap air yang cenderung masih tinggi sehingga susah dibakar dan juga menimbulkan polusi asap yang besar sehingga dapat menimbulkan penyakit asma. Salah satu limbah biomassa yang potensial adalah sekam padi yang dihasilkan dari pengolahan gabah padi. Pemanfaatan limbah pertanian khususnya sekam padi ini masih sangat minim dan cenderung diabaikan atau dibakar habis dalam tungku tradisional dengan polusi asap yang mengganggu kesehatan. Padahal potensi energy dari limbah ini cukup besar [2], [7]. Sudarmanta dkk, 2009 [7] melaporkan kandungan energy bahan sekam padi dapat mencapai 14,1 MJ/kg dengan nilai carbon fixed sebesar 35-38% dan kandungan air sekitar 12%. Bestari, 2016, [8] meneliti karakteristik physics dan pembakaran briket arang sekam padi yang dikombinasi dengan biomassa lainnya (arang kayu jati) dan dilaporkan bahwa biomassa tersebut karakteristik pembakaran yang cepat dengan panas yang tinggi sehingga memungkinkan untuk digunakan secara luas di masyarakat. Potensi energi biomassa ini sangat baik untuk dikonversi menjadi sumber panas bagi pengeringan pasca panen dan kebutuhan energy lainnya di masyarakat.

Karena itu dibutuhkan teknologi konversi energy secara baik yang dapat menjamin dan memberikan solusi terhadap masalah petani di masyarakat. Teknologi yang dimaksudkan tentunya dapat memberikan nilai tambah (*added value*) bagi masyarakat dan lingkungan. Teknologi gasifikasi biomassa merupakan salah satu teknologi yang sangat tepat untuk maksud di atas. Teknologi gasifikasi ini dapat menggunakan berbagai bahan biomassa di masyarakat termasuk sampah perkotaan yang belum termanfaatkan dengan baik [9]. Sebagai salah satu perangkat ekonomi masyarakat, produk teknologi sudah seharusnya dijadikan prioritas pembangunan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat miskin. Pemanfaatan teknologi tepat guna yang sesuai dengan situasi lokal pada gilirannya akan mendorong optimalisasi sumber daya alam sehingga mampu menciptakan kemandirian masyarakat yang dibarengi dengan kegiatan-kegiatan inovatif lainnya.

Teknologi pengeringan matahari ini memiliki keterbatasan dalam hal konstruksi yang statis. Pengeringan dengan pemanasan matahari akan optimal bila bahan menghadap langsung ke arah sumber panas yakni matahari. Oleh karena itu

beberapa peneliti mengembangkan model pengeringan tersebut dengan menggunakan alat pengarah yang dikenal dengan solar tracking. Solar tracking ini dapat meningkatkan panas keluaran dan juga energy listrik sebesar 20-30% [10]. Namun teknologi ini masih mahal dan susah diaplikasikan. Keterbatasan yang paling signifikan dari teknologi pengeringan matahari ini adalah bahwa pengeringan ini hanya dapat dilakukan pada siang hari dimana radiasi panas matahari dalam kondisi optimum. Oleh karena itu tulisan ini mereview secara seksama potensi pemanfaatan teknologi pengering matahari yang dapat diintegrasikan pemanas thermal dari energi biomassa limbah pertanian dan perkebunan untuk pengeringan produk pascapanen.

Pemanfaatan limbah biomassa dapat menjadi sumber energi karbon netral yang dapat digunakan untuk pengeringan berbagai produk pertanian dan perkebunan. Salah satu limbah biomassa yang sangat potensial di Sulawesi Tenggara adalah biomassa limbah kelapa sawit berupa cangkang sawit. Cangkang sawit (palm kernel shell) merupakan salah satu sumber bioenergi yang memiliki nilai kalori cukup tinggi yaitu 4200 Kalori/kg. Pemanfaatan cangkang sawit sebagai bahan bakar alternatif dapat mengurangi emisi karbon. Ketersediaan pasokan cangkang sawit cukup besar di Indonesia terutama di pulau Sumatera, Kalimantan dan Sulawesi. Secara tradisional masyarakat di sekitar pabrik kelapa sawit memanfaatkan limbah padat tersebut sebagai sumber energi untuk memasak atau memanaskan air.



Gambar 1. Limbah biomassa Kelapa Sawit dan salah satu pemanfaatannya dalam masyarakat.

2. Metode Penelitian

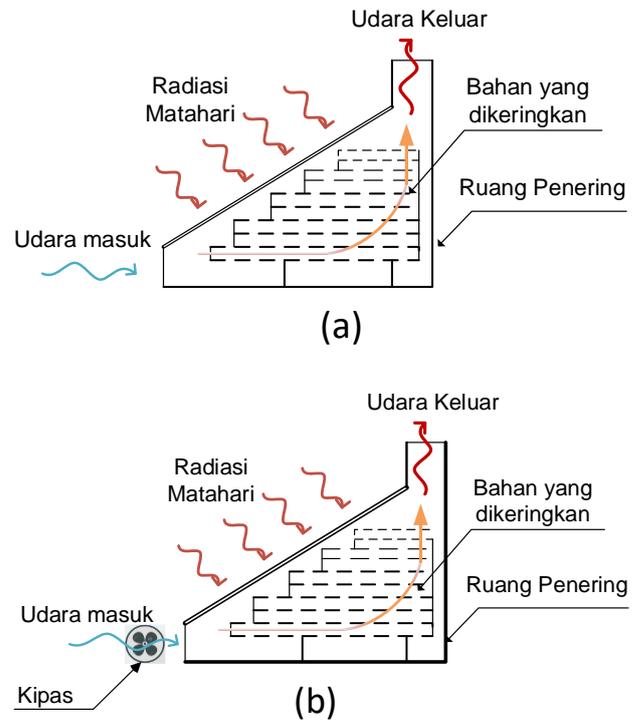
Penulis menggunakan metode komparasi dari berbagai sumber serta mereview berbagai jurnal yang membahas tentang pengeringan matahari yang banyak diaplikasikan sebagai pengering produk pertanian pasca panen. Sebagai bahan perbandingan, dalam kajian ini penulis memaparkan hasil penelitian terhadap pembakaran biomassa dalam kompor gasifikasi Jenis *Top Lit Up-Draft* (TLUD). Biomassa kering dari potongan kayu dibakar di dalam tungku tersebut kemudian mengalirkan udara pembakaran ke dalam ruang penampung panas. Panas yang dihasilkan kemudian dialirkan ke dalam ruang pengering gabah sistem aliran silang. Pengukuran temperatur dilakukan di dalam ruang tersebut untuk mengetahui temperatur udara yang dapat digunakan lebih lanjut sebagai backup bagi pemanasan produk pertanian pasca panen.

System konversi energi biomassa dapat dilakukan dengan metode pembakaran biasa, pirolisis, dan gasifikasi. Pembakaran biomassa dilakukan dengan pembakaran dengan udara sepenuhnya seperti dilakukan di dalam pembakaran kayu untuk masak atau untuk ketel. System pembakaran jenis ini tidak memerlukan teknologi khusus. Dalam sistem pyrolysis pembakaran bahan bakar padat tidak melibatkan udara sama sekali dan menghasilkan cairan pirolisis, gas bakar dan arang padat sisa pembakaran yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan energi. Gasifikasi biomassa merupakan salah satu cara untuk memanfaatkan limbah biomassa menjadi energy bermanfaat. Gasifikasi biomassa merupakan suatu proses dekomposisi termal dari bahan-bahan organik melalui pemberian sejumlah panas dengan suplay oksigen terbatas untuk menghasilkan gas-gas bakar (synthesis gases) yang terdiri dari CO, H₂, CH₄ (selanjutnya disebut dengan gas sintetik) sebagai produk utama dan berbagai arang karbon dalam jumlah kecil serta abu sebagai produk ikutan [11], [12]. Secara umum, gasifikasi melibatkan reaksi bahan bakar padat dengan udara pada suhu di kisaran 550-1000 °C [13], [14]. Energi Biomassa menjadi salah satu energy alternative yang melimpah, dapat dibaharui dan mudah didapatkan sehingga dapat kita manfaatkan untuk menggantikan minyak bumi [15].

3. Hasil dan Pembahasan

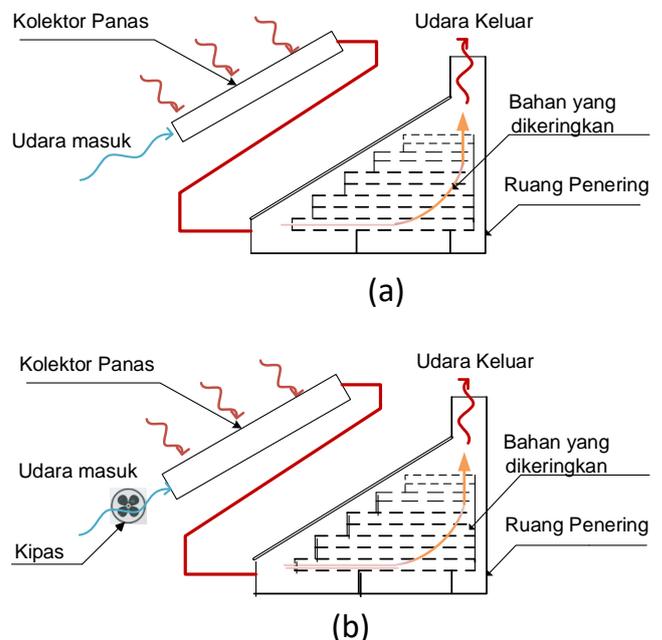
Pengembangan teknologi pengeringan matahari sangat efektif digunakan untuk mengoptimalkan pengeringan produk pertanian khususnya gabah padi. Dalam teknologi pengeringan matahari bahan diletakkan dalam ruang pengering dimana udara panas dialirkan dengan temperatur antara 30-80°C. Uap air terbawa keluar dari produk pada temperatur tinggi tersebut akibat turunnya kelembaban relatif dalam ruang tersebut. Hal ini mengakibatkan laju pengeringan bahan menjadi cepat. Dalam teknologi pengering matahari parameter luar seperti temperature udara masuk, kelembaban relative dan panas masuk dapat diatur dengan menggunakan pemanas tambahan seperti menggunakan listrik, minyak tanah dan biomasa. Salah satu yang sangat populer dan murah adalah mengeringkan tipe rak dimana lapisan bahan di susun dalam rak pengering kemudian dialirkan udara panas melewati rak-rak tersebut. Pengaliran panas ke dalam ruang pengering dapat dilakukan dengan cara alami (*natural*) maupun secara paksa (*force*) seperti Gambar berikut [16].

Pada pengeringan langsung bahan diletakkan dalam ruang pengering dimana radiasi matahari masuk melewati penutup lapisan transparan dan langsung memanasi bahan tersebut. Pada pengeringan alami pergerakan udara melewati rak pengering disebabkan oleh adanya perbedaan densitas udara antara bagian masuk dengan bagian keluar. Sementara untuk konveksi paksa maka pergerakan udara dibantu oleh sebuah kipas untuk menyalurkan udara panas melewati produk dalam rak-rak pengering.



Gambar 2. Pengering tipe langsung a) aliran udara alami, b) Aliran udara paksa

Berdasarkan pengujian yang dilakukan terhadap cabe (500kg) oleh Pankaew dkk 2020 [17] dilaporkan bahwa selama pengeringan 2,5 hari maka kandungan air turun dari 74,7 % menjadi 10% dengan efisiensi pengeringan mencapai 13,1%.

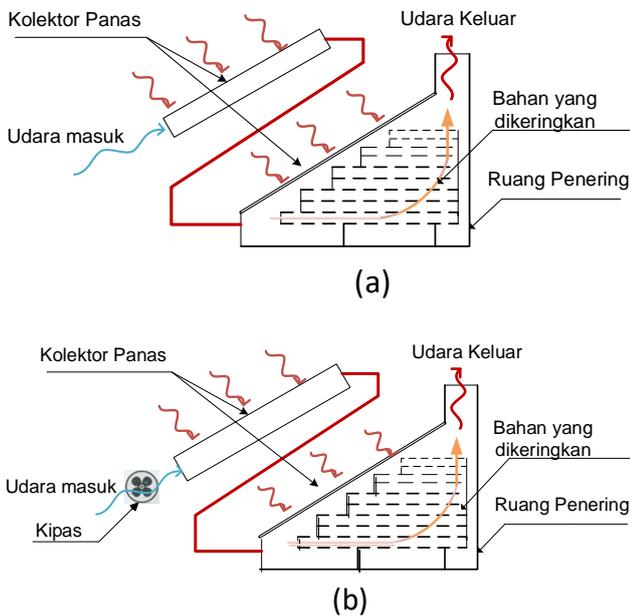


Gambar 2. Pengering tipe tidak langsung: a) aliran udara alami b) Aliran udara paksa

Dalam pengeringan tidak langsung bahan dikeringkan tanpa kontak langsung dengan matahari di dalam ruang pengering. Udara panas yang digunakan diperoleh dari kolektor panas matahari atau pemanas yang digunakan. Pemanas tidak langsung ini dapat

menggunakan tambahan sumber panas dari sumber lain seperti energy listrik, biomassa dan pembakaran LPG. System pengeringan tidak langsung secara natural dilakukan oleh Jain dan Tawari ,2015 [18] . Hasil pengujian menunjukkan bahwa temperature ruang pengering dapat meningkat sekitar 6°C dibanding temperature udara luar. Mereka mencoba mengeringkan 12 kg daun mint dengan membutuhkan 24 jam untuk menjadi kering.

System pengeringan tidak langsung secara paksa diteliti oleh Shalaby dan Bek , 2014 [19] dengan menggunakan bahan tanaman obat (*medicinal plants*). Dilaporkan dari penelitian ini bahwa dengan mempertahankan temperature dalam ruang pengering 2,5-7,5° C lebih tinggi dari udara atmosfer maka dicapai temperature maksimum setelah 4 jam pertama. Dengan system ini maka dilaporkan juga bahwa efisiensi system dapat mencapai 52,2%.



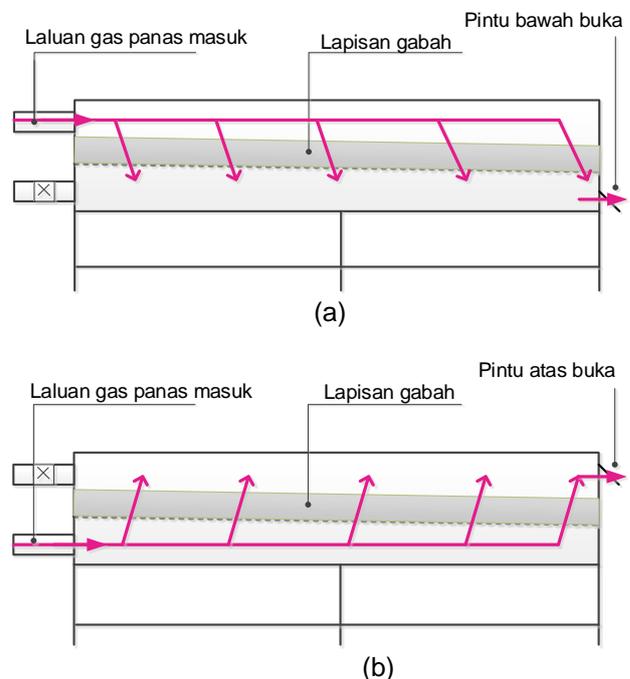
Gambar 3. Gabungan a) aliran udara alami b) Aliran udara paksa

Dalam pemanasan gabungan, pemanasan dilakukan dengan kombinasi pemanasan langsung dan tidak langsung. Ruang pengering dilapisi dengan plastik transparan atau kolektor panas matahari. Selama proses pengeringan ini radiasi panas matahari diserap ke dalam ruang pengering dimana bahan ditempatkan. Proses ini berlangsung secara terus menerus sampai terjadi keseimbangan tekanan uap di dalam bahan. Peningkatan tekanan dan temperatur ini mendorong uap air keluar sehingga proses pengeringan menjadi cepat pula [20]. Arun dkk 2020 [21] melakukan percobaan dengan system ini untuk aliran alami pada pisang dengan berbagai ketebalan dan laju aliran udara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa energy efisiensi akan maksimum pada laju udara 0.03kg/sec. Dilaporkan juga bahwa dengan meningkatnya laju aliran massa udara maka efisiensi pengeringan akan meningkat pula.

Zachariah, dkk. 2021 [22] mengembangkan dan menguji system gabungan dengan aliran udara paksa menggunakan panel photovoltaic. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi thermal pengering dengan dan tanpa tabung pemanas dapat mencapai

masing-masing 18,6% dan 10,8%. Dengan mengintegrasikan penyimpanan pemanas sensible dan laten dengan pemanas matahari akan membantu pengeringan secara terus menerus untuk berbagai produk pertanian. Namun demikian komponen pengeringan system ini masih cenderung mahal. Pembakaran biomassa memerlukan udara yang cukup serta bentuk dan ukuran yang kecil untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna dalam tungku. Jenis tungku pembakaran yang digunakan dalam pembakaran biomassa dapat bermacam-macam dengan tingkat efisiensi pembakaran yang bervariasi pula. Salah satu jenis tungku pembakaran biomassa yang memiliki konversi panas dengan efisiensi yang baik adalah tungku jenis TLUD. Tungku pembakaran jenis ini terdiri atas tabung pembakaran biomassa yang memiliki lubang supply udara.

Pembakaran biomassa dilakukan dalam tungku tersebut kemudian udara panas yang dihasilkan diarahkan ke dalam ruang pengeringan gabah (Gambar 4 dan 5). Pengujian dilakukan dengan lapisan gabah setebal 20 cm dari 40 kg gabah setengah kering. Aliran udara dari pemanas adalah secara alami tanpa bantuan kipas atau blower. Dengan system tersebut diperoleh bahwa gabah tersebut mengalami penurunan berat gabah sebanyak 3,5 kg selama 1 jam pemanasan. Suhu ruangan tertinggi sebesar 15°C di atas suhu ruangan setelah pemanasan berlangsung sekitar 35 menit. Kombinasi beberapa sumber energy alternative ini untuk kelangsungan pengeringan sangat penting dipelajari dan dikembangkan untuk mengoptimalkan pengeringan produk pertanian.



Gambar 4. Metode Pengering aliran silang; a) Aliran atas, b) aliran bawah



Gambar 5. System pengeringan aliran silang dengan tungku biomassa

Pengujian telah dilakukan terhadap penggunaan biomassa sebagai sumber energi terbarukan untuk mendukung kebutuhan pengeringan produk pertanian pasca panen padi. Hasil penelitian menunjukkan potensi penggunaan biomassa sebagai sumber energi alternatif yang dapat mendukung pengeringan matahari yang tidak kontinyu. Hasil pengukuran temperatur pada penggunaan biomassa kayu kering menunjukkan temperatur udara mencapai 60-80°C dalam ruangan pengeringan sehingga dapat menggantikan pemanas matahari dalam kondisi udara cerah.

Pengembangan ruang pengering jenis aliran silang juga sangat penting untuk mempercepat proses pengeringan produk dengan menggunakan energi biomassa ini. Dengan pengeringan udara aliran silang dengan pemanas energi biomassa maka proses pengeringan menjadi lebih efisien dibandingkan dengan pemanasan langsung. Dalam pemanasan ruangan pengering maka temperatur dapat meningkat menjadi 45°C setelah dipanaskan 35 menit pertama dan temperatur tersebut sangat bervariasi sesuai dengan kondisi penyalan kompor. Hasil pengujian yang dilakukan pada 40 kg gabah padi dengan lapisan gabah setebal 20 cm dalam rak pengering memperlihatkan penurunan massa sebesar 3,5 kg dalam waktu pengeringan 69 menit. Pengeringan dengan energi biomassa cukup potensial dikembangkan di daerah pertanian dalam membantu para petani memperbaiki kualitas gabah hasil panen khususnya di lahan sawah tadah hujan.

4. Simpulan

Telah dilakukan review terhadap penggunaan pengering tenaga matahari dan pemanas energi biomassa untuk berbagai produk-produk pertanian. Teknologi tersebut di atas sangat cocok diaplikasikan di lahan pertanian Pambulaa Jaya Kabupaten Konawe

Selatan dimana system pengeringan masih sangat tradisional dengan penjemuran langsung di lapangan. Hasil tinjauan di atas dapat membantu berbagai pihak untuk mengembangkan teknologi pengering dengan backup sumber energy dari biomassa terutama sekam padi. Beberapa penekanan dari tinjauan tersebut dirangkum di bawah ini.

- Integrasi sumber energy matahari dengan sumber energy lainnya akan membantu dalam proses pengeringan produk pertanian secara terus menerus tanpa tergantung pada kondisi cuaca dan penyinaran matahari.
- Berbagai model teknologi pengering tenaga matahari dapat diaplikasikan dalam pengeringan agar dapat menghasilkan produk berkualitas standar di pasaran nasional
- Salah satu sumber energy alternative yang penting dalam membackup penyinaran matahari adalah energy dari biomassa. System pembakaran dengan tungku gasifikasi merupakan salah satu metode efektif dalam mengkonversi energy biomassa menjadi gas panas untuk pengeringan produksi pertanian pasca panen.
- Kombinasi system pengering matahari dengan aliran udara panas biomassa system silang diharapkan dapat mengoptimalkan system pengeringan gabah di masyarakat.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih pada Program Matching Fund Universitas Halu Oleo tahun 2022, yang telah mendukung kegiatan penelitian ini. Juga kepada masyarakat petani Desa Pombulaa Jaya yang telah berpartisipasi dalam kegiatan penelitian ini diucapkan limpah terima kasih.

Daftar Pustaka

- [1] S. Yilmaz and H. Selim, "A review on the methods for biomass to energy conversion systems design," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 25, pp. 420–430, 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.05.015.
- [2] M. Anshar, A. S. Kader, and F. N. Ani, "The utilization potential of rice husk as an alternative energy source for power plants in Indonesia," *Adv. Mater. Res.*, vol. 845, pp. 494–498, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.845.494.
- [3] B. Triyono, M. H. Gusman, D. Hutapea, P. Prawisudha, and A. D. Pasek, "State of the art teknologi hidrotermal untuk pengolahan sampah kota menjadi bahan bakar padat," *Proceeding Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin XV (SNTTM XV)*, no. Snttm Xv, pp. 5–6, 2016, [Online]. Available: <http://prosiding.bkstm.org/prosiding/2016/KE-068.pdf>
- [4] F. Citra, G. Almira Aulia, R. Indiarso, A. Hodizah Asyifaa, F. Citra Angiputri Adiningsih, and S. Rahmalia Achmad, "Conventional And Advanced Food-Drying Technology: A Current Review," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 10, no. March, p. 1, 2021, [Online]. Available: www.ijstr.org
- [5] G. Srinivasan, D. K. Rabha, and P. Muthukumar, "A review on solar dryers integrated with thermal

- energy storage units for drying agricultural and food products,* Sol. Energy, vol. 229, no. March, pp. 22–38, 2021, doi: 10.1016/j.solener.2021.07.075.
- [6] S. Yakoyama and M. Yukihiro, “*The Asian Biomass Handbook Support Project for Building Asian-Partnership for Society,*” Japan Inst. Energy, p. 338, 2008.
- [7] B. Sudarmanta, D. B. Murtadji, and D. F. Wulandari, “*Karakterisasi Gasifikasi Biomassa Sekam Padi Menggunakan Reaktor Downdraft dengan Dua Tingkat Laluan Udara,*” J. Tek. Mesin, vol. 4, no. 36, pp. 1924–1934, 2009.
- [8] Widya Gema Bestari, Mutiara Mendopa, and Rosdanelli Hasibuan, “*Karakteristik Briket Dari Sekam Padi Dan Ketaman Kayu Berperekat Daun Jambu Mete,*” J. Tek. Kim. USU, vol. 5, no. 2, pp. 15–20, 2016, doi: 10.32734/jtk.v5i2.1529.
- [9] L. K. Mangalla *et al.*, “*Experimental Study on the Performance Characteristics of a Microwave - Solar Heating Dryer,*” IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., vol. 797, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/797/1/012017.
- [10] E. A. Arinze, S. Sokhansanj, G. J. Schoenau, and F. G. Trauttmansdorff, “*Experimental evaluation, simulation and optimization of a commercial heated-air batch hay drier: Part 1, drier functional performance, product quality, and economic analysis of drying,*” J. Agric. Eng. Res., vol. 63, no. 4, pp. 301–314, 1996, doi: 10.1006/jaer.1996.0033.
- [11] A. Wijaya, H. Chrysolite, M. Ge, C. K. Wibowo, and A. Pradana, “*Executive Summary,*” World Resour. Inst., no. September, 2017, [Online]. Available: [https://wri-indonesia.org/sites/default/files/WRI Layout Paper OCN v7.pdf](https://wri-indonesia.org/sites/default/files/WRI%20Layout%20Paper%20OCN%20v7.pdf)
- [12] N. B. Klinghoffer and M. J. Castaldi, *Gasification and pyrolysis of municipal solid waste (MSW)*. 2013. doi: 10.1533/9780857096364.2.146.
- [13] M. J. Prins, K. J. Ptasiński, and F. J. J. G. Janssen, “*More efficient biomass gasification via torrefaction,*” Energy, vol. 31, no. 15, pp. 3458–3470, 2006, doi: 10.1016/j.energy.2006.03.008.
- [14] T. G. Bridgeman, J. M. Jones, I. Shield, and P. T. Williams, “*Torrefaction of reed canary grass, wheat straw and willow to enhance solid fuel qualities and combustion properties,*” Fuel, vol. 87, no. 6, pp. 844–856, 2008, doi: 10.1016/j.fuel.2007.05.041.
- [15] A. K. Rajvanshi, “*Biomass gasification in: Alternative Energy in Agriculture,*” Altern. Energy Agric., vol. 2, no. 4, pp. 83–102, 1986.
- [16] H. El Hage, A. Herez, M. Ramadan, H. Bazzi, and M. Khaled, “*An investigation on solar drying: A review with economic and environmental assessment,*” Energy, vol. 157, pp. 815–829, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.05.197.
- [17] P. Pankaew, O. Aumporn, S. Janjai, S. Pattarapanitchai, M. Sangsan, and B. K. Bala, “*Performance of a large-scale greenhouse solar dryer integrated with phase change material thermal storage system for drying of chili,*” Int. J. Green Energy, vol. 17, no. 11, pp. 632–643, 2020, doi: 10.1080/15435075.2020.1779074.
- [18] D. Jain and P. Tewari, “*Performance of indirect through pass natural convective solar crop dryer with phase change thermal energy storage,*” Renew. Energy, vol. 80, pp. 244–250, 2015, doi: 10.1016/j.renene.2015.02.012.
- [19] S. M. Shalaby and M. A. Bek, “*Experimental investigation of a novel indirect solar dryer implementing PCM as energy storage medium,*” Energy Convers. Manag., vol. 83, pp. 1–8, 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.03.043.
- [20] R. B. A. P. I, and M. E., “*Traditional Drying Techniques for Fruits and Vegetables Losses Alleviation in Sub-Saharan Africa,*” IOSR J. Environ. Sci. Toxicol. Food Technol., vol. 8, no. 9, pp. 52–56, 2014, doi: 10.9790/2402-08945256.
- [21] K. R. Arun, G. Kunal, M. Srinivas, C. S. S. Kumar, M. Mohanraj, and S. Jayaraj, “*Drying of untreated Musa nendra and Momordica charantia in a forced convection solar cabinet dryer with thermal storage,*” Energy, vol. 192, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2019.116697.
- [22] R. Zachariah, T. Maatallah, and A. Modi, “*Environmental and economic analysis of a photovoltaic assisted mixed mode solar dryer with thermal energy storage and exhaust air recirculation,*” Int. J. Energy Res., vol. 45, no. 2, pp. 1879–1891, 2021, doi: 10.1002/er.5868.



Lukas Kano Mangalla menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Hasanuddin pada tahun 1995. Pendidikan magister Teknik Mesin diselesaikan di Universitas Gadjah Madah pada tahun 2005, dengan area riset tentang Bahan bakar Emulsi pada mesin disel.

Pada tahun 2015 ia menyelesaikan pendidikan doctoral di Kanazawa University, Jepang. Saat ini ia bekerja sebagai dosen di Jurusan Teknik Mesin Uinversitas Halu Oleo di Kendari Sulawesi Tenggara. Bidang penelitian utama yang digeluti adalah Solid fuel Combustion, Drying system, internal combustion engine, dan CFD.



Agustinus Lolok menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Elektro Universitas Hasanuddin dari tahun 1988 sampai 1995. Pendidikan Magister Perencanaan Wilayah di Universitas Halu Oleo tahun 2016 dengan area riset tentang System Keamanan Jaringan Listrik Jaringan Udara



Yulius B. Pasolon menyelesaikan pendidikan S1 di Universitas Hasanuddin tahun 1984, Pendidikan Master of Agriculture di Tokyo Univ. of Agriculture and Technology tahun 1991 dan pada tahun 1994 dan Doctor of Agriculture di United Graduate School Tokyo University of Agriculture Jepang dengan area riset tentang Plant Production. Saat ini ia bekerja sebagai dosen Agroteknologi Uinversitas Halu Oleo di Kendari Sulawesi Tenggara. Bidang penelitian utama yang digeluti adalah Kesuburan Tanah dalam kaitannya dengan Produksi pangan.