

Karakterisasi Alat Pengering Tipe Kabinet Berbahan Bakar Liquefied Petroleum Gas (LPG) Dengan Penambahan Low Cost Material Heat Storage (LCMHS)

Nanang Apriandi^{1*}, F. Gatot Sumarno¹, Avicenna An-Nizhami¹, Nadia Tasya Ayu Luthfiana², Nevita Nur Kholifah², Muhammad Khusnul A'tohillah² dan Raden Gumilang Aji Prakoso²

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang,

Jln. Prof. Soedarto, S. H., Kota Semarang, Jawa Tengah, Indonesia, 50275

² Program Studi D-3 Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang,

Jln. Prof. Soedarto, S. H., Kota Semarang, Jawa Tengah, Indonesia, 50275

*E-mail: nanang.apriandi@polines.ac.id

Diajukan: 16-06-2022; Diterima: 05-08-2022; Diterbitkan: 22-08-2022

Abstrak

Efektifitas kerja alat pengering utamanya mempersyaratkan temperatur ruang pengering tinggi, kelembaban udara relatif (RH) rendah dan hemat energi. Salah satu upaya peningkatan efektifitas kerja alat pengering adalah dengan penambahan *heat storage*. Umumnya, material *heat storage* yang digunakan adalah material komersil dengan harga yang relatif mahal dan ketersediaannya tidak merata di setiap daerah. Diperlukan material *heat storage* alternatif yang murah dan mudah ditemukan, salah satunya adalah limbah gram besi proses permesinan. Makalah ini mengeksplorasi *low cost material heat storage* (LCMHS) yang diintegrasikan ke dalam alat pengering tipe kabinet berbahan bakar *liquefied petroleum gas* (LPG) dengan memanfaatkan limbah gram besi praktikum permesinan di Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang sebagai material *heat storage*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan karakterisasi terhadap alat pengering dengan penambahan material *heat storage* berbasis limbah gram besi pada ruang *plenum*, dimana karakterisasi alat pengering melibatkan distribusi temperatur di ruang *plenum*, distribusi temperatur di ruang pengering, dan distribusi kelembaban udara relatif (RH) di ruang pengering, dengan memvariasikan massa limbah gram besi 3,5 kg, 6,5 kg, dan 9,5 kg. Hasilnya, temperatur rata-rata di ruang *plenum* berturut-turut adalah 72,08°C, 87,2°C, dan 99,53°C, dengan temperatur tertinggi di ruang pengeringan yaitu 51,26°C pada massa gram besi 3,5 kg dan RH terendah 24,1% dengan massa gram besi 9,5 kg. Secara keseluruhan, limbah gram besi praktikum permesinan dapat digunakan sebagai alternatif material *heat storage* berbiaya rendah pada sistem alat pengering.

Kata kunci: alat pengering; limbah gram besi; *low cost heat storage*; RH; temperatur

Abstract

The main effectiveness of dryer's were requires high drying room temperature, relative humidity (RH) and low energy consumption. One of the efforts to increase the effectiveness of the dryer is by added heat storage. Generally, the heat storage materials used were commercial materials, the price relatively expensive and uneven availability in each region. Alternative heat storage materials are needed such as cheap and easy to find, one of which is gram iron waste from the machining process. This paper explores low cost heat storage material (LCMHS) which is integrated into a cabinet-type dryer with liquefied petroleum gas (LPG) fuel by utilizing gram iron waste of machining practicum at the Mechanical Engineering Department Politeknik Negeri Semarang as heat storage material. The aim of this study was to characterize the dryer with the addition of gram iron waste-based heat storage material in the plenum room, where the characterization of the dryer involves temperature distribution in the plenum room, temperature distribution in the drying room, and the distribution of relative humidity (RH) in the drying chamber. drying chamber, by varying the mass of gram iron waste 3,5 kg, 6,5 kg, and 9,5 kg. The result of this paper are the average temperature in the plenum chamber were 72,08°C, 87,2°C, and 99,53°C, with the highest temperature in the drying room being 51,26°C at a mass of 3,5 kg of iron gram, and the lowest RH 24,1% with a mass of 9,5 kg of an iron gram. Overall, gram iron waste from machining practicum can be used as an alternative low-cost heat storage material in the drying system.

Keywords: dryer; iron gram waste; low-cost heat storage; RH; temperature

1. Pendahuluan

Efektifitas kerja alat pengering, untuk beberapa kasus pengeringan material dengan kadar air tinggi, utamanya mempersyaratkan temperatur ruang pengering yang tinggi, memiliki kelembaban udara relatif (RH) yang rendah, dan yang paling utama adalah hemat energi. Temperatur udara pengering, atau yang sering disebut sebagai temperatur pengeringan,

yang tinggi serta RH udara pengering yang rendah dapat meningkatkan laju pengeringan. Selain itu, konsumsi energi yang rendah pada sistem alat pengering berdampak pada penghematan biaya operasional. Salah satu upaya peningkatan efektifitas kerja alat pengering adalah dengan penambahan *heat storage*.

Heat storage pada prinsipnya adalah suatu sistem yang bekerja menyimpan panas saat proses *charging*/pemanasan dan bekerja melepaskan panas saat proses *discharging*/pendinginan. Penelitian terkait dengan penggunaan *heat storage* yang diintegrasikan di dalam alat pengering sudah banyak dilakukan, baik berupa *latent heat storage*, *sensible heat storage*, ataupun kombinasi keduanya [1]. Umumnya, penggunaan *parafin wax* sebagai media *heat storage* (*latent heat storage*) mendominasi banyak penelitian [2-7]. Sementara itu, penggunaan batu kerikil [8], limbah aluminium [9], campuran pasir dan aluminium [10], serta campuran kerikil dan potongan besi [11] telah diobservasi penerapannya sebagai material *sensible heat storage* di dalam alat pengering ataupun pemanas air.

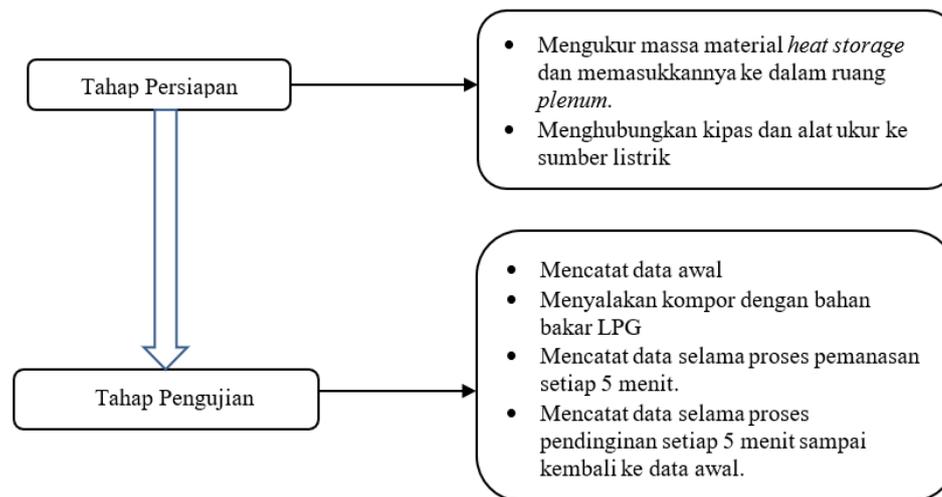
Kareem, et. al. [12] melakukan investigasi terhadap kinerja pemanas udara *multi pass* dengan mengintegrasikan *heat storage* ke dalam pemanas surya. Lakshmi, et.al. [13] melakukan penelitian dengan menggunakan *parafin wax* sebagai media penyimpanan panas pada alat pengering tenaga matahari untuk mengeringkan lada hitam. Hasilnya, efisiensi alat pengering meningkat hingga 20% lebih tinggi.

Selimfendigil & Sirin [14] menginvestigasi penggunaan tembaga *nano-oksida* sebagai material *heat storage* dan membandingkan hasil investigasinya dengan material *heat storage* lainnya berupa *parafin wax* dan *nano parafin wax*. Hasilnya, efisiensi eksergi meningkat sebesar 36% dengan memanfaatkan sistem penyimpanan yang disempurnakan dengan teknologi nano. Lamrani & Draoui [15] menganalisis performansi termal alat pengering tipe *indirect solar dryer* dengan mengintegrasikan *packed-bed thermal energy storage system*. Hasilnya, pengintegrasian *heat storage* ke dalam alat pengering mampu mengurangi waktu pengeringan sekitar 15% dan menjaga keberlanjutan proses pengeringan ketika tidak ada lagi sinar matahari.

Dari beberapa penelitian di atas, sebagian besar material *heat storage* (*parafin wax*, *nano-oksida*, *nano parafin wax*) yang digunakan yaitu material komersil. Hal tersebut tentunya berpotensi meningkatkan biaya operasional apabila diterapkan pada pengeringan skala kecil, dan juga ketersediaan material *heat storage* komersil tersebut, di Indonesia khususnya, tidak selalu ada di setiap daerah. Oleh karena itu, diperlukan material *heat storage* alternatif yang murah dan mudah ditemukan, salah satunya adalah limbah gram besi proses permesinan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi *low cost material heat storage* (LCMHS) berupa limbah gram besi yang diintegrasikan ke dalam alat pengering tipe kabinet berbahan bakar *liquefied petroleum gas* (LPG) serta melakukan karakterisasi terhadap alat pengering tersebut. Karakterisasi alat pengering dimaksudkan untuk mengetahui potensi penerapan limbah gram besi tersebut sebagai media penyimpan panas (*heat storage*).

2. Material dan metodologi

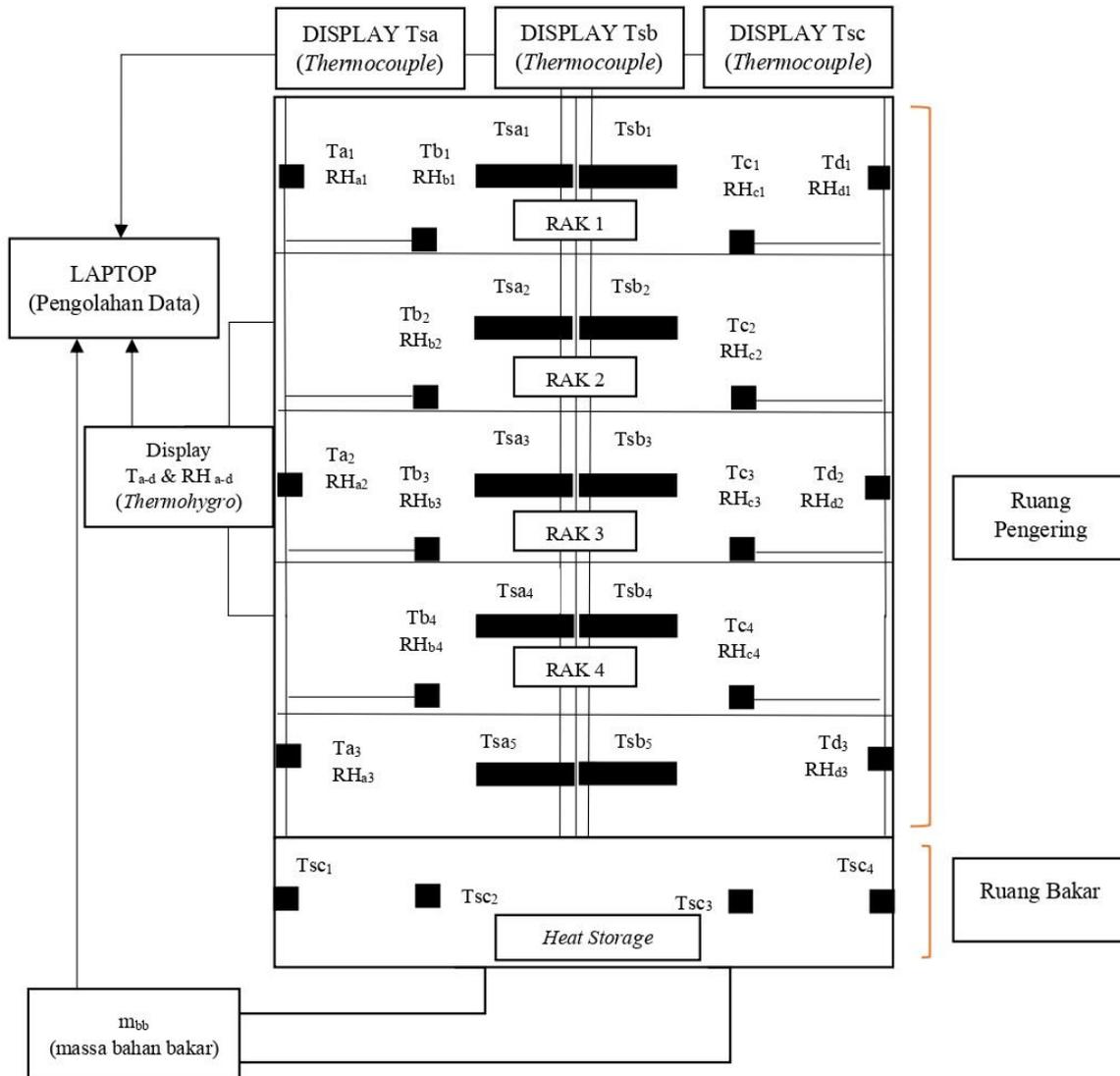
Karakterisasi alat pengering melibatkan distribusi temperatur di ruang *plenum*, distribusi temperatur di ruang pengering, dan distribusi kelembaban udara relatif (RH) di ruang pengering. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang, menggunakan seperangkat alat pengering tipe kabinet berbahan bakar LPG dengan penambahan *heat storage* pada ruang *plenum*. Material *heat storage* yang digunakan berupa gram besi yang berasal dari limbah praktikum permesinan di Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang. Karakterisasi alat pengering ini dilakukan tanpa pembeban pada ruang pengering (tanpa adanya bahan yang dikeringkan).



Gambar 1. Prosedur Pengujian

Alat pengering yang digunakan terdiri dari 3 (tiga) bagian utama, yaitu: ruang bakar, ruang *plenum*, dan ruang pengeringan. Udara panas yang dihasilkan dari proses pemanasan dengan sumber energi berupa LPG, di distribusikan dengan bantuan kipas ke dalam ruang pengering. Gambar 1 menunjukkan alur dari proses pengujian, di mana gram besi sebagai material *heat storage* yang ditambahkan pada alat pengering, divariasikan massanya, yaitu 3,5 kg, 6,5 kg, dan 9,5 kg. Beberapa variabel pengujian dikondisikan tetap, di antaranya kecepatan udara yang masuk ke ruang pengering dan laju alir bahan bakar, yaitu masing-masing sebesar 2 m/s dan 0,00525 kg/s.

Penempatan alat ukur pada beberapa titik pengukuran, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, bertujuan untuk mendapatkan gambaran secara menyeluruh terkait dengan distribusi temperatur dan RH, baik di dalam ruang pengering maupun di ruang *plenum*. *Thermocouple* tipe K yang dihubungkan ke *Autonics Temperature Indikator* seri T4WM-N3NKCC digunakan untuk mengukur temperatur pada ruang *plenum* dan ruang pengering. Kelembaban udara relatif (RH) pada ruang pengering dan lingkungan diukur menggunakan *thermohygro-meter*. *Anemometer* digunakan untuk mengukur kecepatan udara yang masuk ke ruang pengering yang berasal dari kipas yang terdapat pada ruang *plenum*, dan timbangan digital untuk mengukur massa material *heat storage* dan massa bahan bakar yang digunakan, serta *stopwatch* untuk mengetahui waktu pengujian.

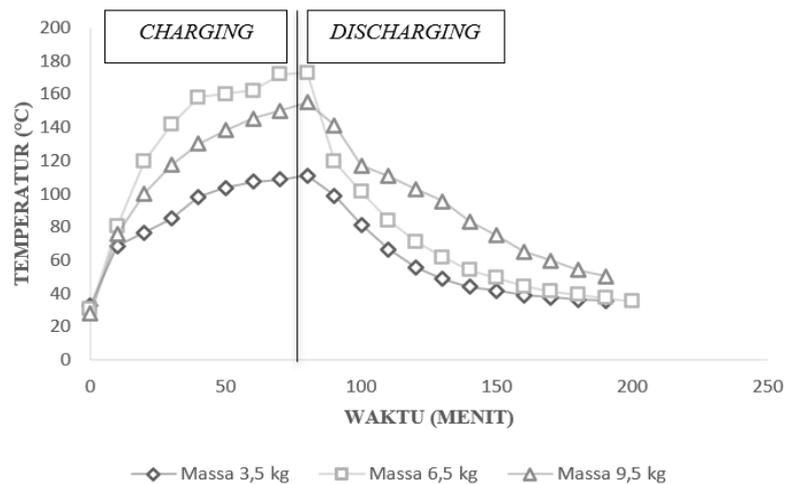


Gambar 2. Ilustrasi Alat Pengering dan Penempatan Instrumen Pengukuran

Pengukuran dilakukan pada dua kondisi, yaitu pada kondisi *charging*/pemanasan (kompor dalam kondisi hidup) dan kondisi *discharging*/pendinginan (kompor dalam kondisi mati). Data berupa temperatur lingkungan, temperatur *heat storage*, temperatur ruang *plenum*, temperatur ruang pengering, RH lingkungan, RH udara pengering, massa bahan bakar, kecepatan udara, massa material *heat storage*, dan waktu pengujian yang didapatkan digunakan untuk melakukan karakterisasi alat pengering.

3. Hasil dan pembahasan

Tahap pertama dari karakterisasi alat pengering dilakukan pada ruang *plenum*. Analisa melingkupi tren peningkatan temperatur pada saat *charging*/pemanasan dan tren penurunan temperatur pada saat *discharging*/pendinginan. Secara umum, proses *charging*/pemanasan dilakukan hingga mencapai temperatur rata-rata di ruang pengering sebesar 50°C kemudian dilakukan proses *discharging*/pendinginan setelahnya. Temperatur rata-rata di ruang pengering sebesar 50°C tersebut merupakan temperatur ideal untuk pengeringan kerupuk kulit (40 - 60°C) [16,17] dan juga merupakan temperatur operasi yang digunakan oleh target pengguna alat pengering untuk mengeringkan kerupuk kulit ikan.

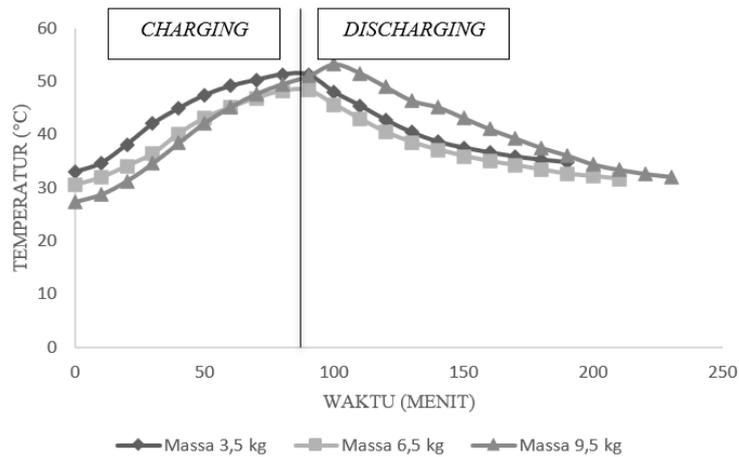


Gambar 3. Tren Peningkatan dan Penurunan Temperatur di Ruang *Plenum* pada Proses *Charging-Discharging* dengan Beberapa Variasi Massa Material *Heat Storage*

Gambar 3 menunjukkan tren peningkatan temperatur di dalam ruang *plenum* dengan penambahan *heat storage* pada kondisi *charging*/pemanasan (kompor dalam kondisi menyala). Terlihat bahwa, untuk semua variasi massa *heat storage*, dengan laju konsumsi bahan bakar yang konstan, temperatur meningkat seiring bertambahnya waktu pemanasan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Devahastin & Pitaksuriyarat [18]. Dengan waktu pemanasan selama 80 menit, tren peningkatan temperatur yang paling baik yaitu berturut-turut pada penggunaan *heat storage* dengan massa gram besi 6,5 kg, 9,5 kg, dan 3,5 kg, dengan temperatur tertinggi berturut-turut mencapai 172,75°C, 155°C, dan 111°C.

Variasi massa material *heat storage* yang ditempatkan pada media dengan dimensi yang sama, akan menyebabkan perbedaan ketebalan material *heat storage* yang diintegrasikan di ruang *plenum*. Hal ini akan berpengaruh terhadap laju perpindahan panas pada material *heat storage*, dimana besarnya laju perpindahan panas berbanding terbalik dengan ketebalan media perpindahan panas [19]. Hasil yang tidak sesuai di dapatkan di dalam penelitian ini, yaitu *heat storage* dengan massa gram besi 3,5 kg menghasilkan tren peningkatan temperatur yang kurang optimal bila dibandingkan dengan *heat storage* dengan massa gram besi 6,5 kg dan 9,5 kg. Hal ini disebabkan karena saat pengujian dilakukan, material gram besi dalam kondisi basah yang diakibatkan dari proses pencucian gram besi sebelum digunakan. Hal tersebut tentunya berdampak terhadap proses perpindahan panas yang tidak optimal.

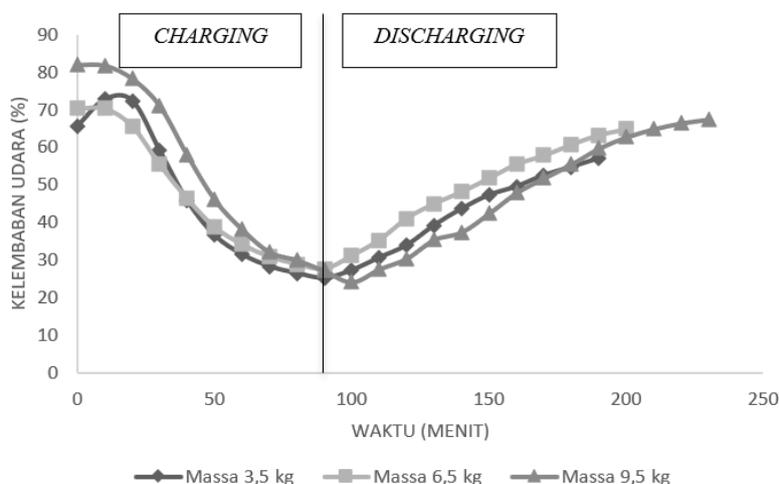
Berbeda dengan proses *discharging*/pendinginan (kompor dalam kondisi mati), dari Gambar 3 terlihat bahwa variasi massa material *heat storage* yang berimplikasi terhadap ketebalan material berpengaruh terhadap kemampuan material tersebut dalam menyimpan panas. Semakin besar massa material yang digunakan sebagai media *heat storage*, semakin tinggi pula kemampuannya dalam menyimpan panas, dimana untuk masing-masing massa material *heat storage* 3,5 kg, 6,5 kg, dan 9,5 kg yang ditempatkan pada wadah sama berukuran 48 x 39 cm didapatkan ketebalan material *heat storage* berturut-turut sebesar 1 cm, 2 cm, dan 3 cm.



Gambar 4. Distribusi Temperatur di Ruang Pengering pada Kondisi *Charging-Discharging* dengan Beberapa Variasi Massa Material *Heat Storage*

Gambar 4 memperlihatkan efek dari penambahan *heat storage* di ruang *plenum* dengan massa material *heat storage* yang bervariasi terhadap distribusi temperatur di dalam ruang pengering. Untuk waktu *charging*/pemanasan yang sama, yaitu 80 menit, pada variasi massa material *heat storage* 3,5 kg, 6,5 kg, dan 9,5 kg didapatkan temperatur tertinggi di ruang pengering masing-masing sebesar 51,26°C, 48,3°C, dan 51°C. Distribusi temperatur rata-rata di ruang pengering pada masing-masing variasi massa gram besi, yaitu berturut-turut sebesar 42,08°C, 39,15°C, dan 38,9°C.

Pada proses *discharging*/pendinginan, dari Gambar 4, dapat dilihat bahwa kemampuan *heat storage* di dalam menjaga temperatur pengeringan berbanding lurus dengan massa material *heat storage* yang digunakan. Dari Gambar 3 terlihat bahwa *heat storage* pada massa material 9,5 kg memiliki kemampuan untuk menjaga temperatur ruang *plenum* pada proses *discharging*/pendinginan, lebih tinggi dan lebih lama dibandingkan dengan variasi massa material *heat storage* lainnya. Hal ini tentunya akan berpengaruh juga terhadap distribusi temperatur pada ruang pengering selama proses pendinginan tersebut berlangsung. Temperatur ruang pengering akan dipengaruhi oleh temperatur yang terdapat di dalam ruang *plenum*.



Gambar 5. Distribusi Kelembaban Udara Relatif (RH) di Ruang Pengering pada Kondisi *Charging-Discharging* dengan Beberapa Variasi Material *Heat Storage*

Besaran nilai kelembaban udara relatif (RH) pengeringan atau RH udara yang terdapat di dalam ruang pengering salah satunya dipengaruhi oleh temperatur yang terdapat pada ruang *plenum*. Gambar 5 menunjukkan besaran nilai RH selama proses pengujian dengan variasi massa material *heat storage* 3,5 kg, 6,5 kg, dan 9,5 kg. Dengan waktu pemanasan selama 80 menit, *heat storage* dengan massa material 6,5 kg memiliki tren penurunan RH yang terbaik bila dibandingkan dengan variasi massa material *heat storage* lainnya, dimana dengan RH ruang pengering awal sebesar 70,4% diturunkan mencapai 63,5% dalam waktu 20 menit, dan dengan RH terendah mencapai 27,6%. Hal ini juga dapat dilihat dari hasil analisa terhadap distribusi temperatur yang ada di ruang *plenum* yang menunjukkan bahwa distribusi temperatur yang paling optimal di dalam ruang *plenum* yaitu pada variasi massa material *heat storage* 6,5 kg. Hasil investigasi ini sesuai dengan yang didapatkan oleh [20-21] di dalam penelitiannya, dimana besarnya temperatur udara yang masuk ke dalam ruang pengering berbanding terbalik dengan besarnya nilai kelembaban udara (RH) di dalam ruang pengering.

Dalam kondisi pendinginan, variasi massa material *heat storage* 9,5 kg mampu menjaga RH ruang pengering lebih baik daripada variasi massa material *heat storage* lainnya. Hal ini disebabkan karena kemampuan *heat storage* tersebut dalam menyimpan panas lebih tinggi dari yang lainnya yang berdampak pada kemampuan mempertahankan temperatur ruang *plenum* yang lebih tinggi pula. Hal ini berarti, kemampuan untuk menurunkan kelembaban udara yang akan dialirkan ke ruang pengering lebih tinggi.

4. Kesimpulan

Limbah gram besi yang dihasilkan dari proses praktikum permesinan di Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang dapat dijadikan sebagai alternatif *low cost material heat storage* (LCMHS). Kemampuan limbah gram besi sebagai material *heat storage* dalam menyimpan panas dipengaruhi oleh massa limbah gram besi yang digunakan. Semakin besar massa limbah gram besi yang digunakan, maka kemampuan menyimpan panasnya semakin tinggi, akan tetapi, dibutuhkan energi yang lebih banyak untuk mendapatkan temperatur yang sama dibandingkan dengan *heat storage* dengan massa gram besi yang lebih kecil, dimana di dalam proses *discharging*/pendinginan, untuk menurunkan temperatur di ruang *plenum* hingga mencapai temperatur rata-rata 50°C (dengan kondisi temperatur awal yang relatif sama pada 110°C) dibutuhkan waktu yang berbeda-beda untuk setiap massa gram besi yang digunakan, yaitu berturut-turut sebesar 50 menit, 60 menit, dan 80 menit untuk masing-masing massa limbah gram besi 3,5 kg, 6,5 kg, dan 9,5 kg.

Daftar Pustaka

- [1] Azaizia, Z., Kooli, S., Hamdi, I., Elkhal, W., Guizani, A. A. Experimental study of a new mix mode solar greenhouse drying system with and without thermal energy storage for pepper. *Renewable Energy*. 2020; 145: pp. 1972-1984.
- [2] Zachariah, R., Maatallah, T., Modi, A. Environmental and economic analysis of a photovoltaic assisted mixed mode solar dryer with thermal energy storage and exhaust air recirculation. *International Journal of Energy Research*. 2020.
- [3] Vijayrakesh, K., Muthuvel, S., Gopinath, G. R., Qarnain, S. S., Bathrinath, S. Experimental investigation of the performance of paraffin wax-packed floor on a solar dryer. *Journal of Energy Storage*. 2021; 43.
- [4] Govindan, G. R., Sattanathan, M., Muthiah, M., Ranjitharamasamy, S. P., Athikesavan, M. M. Performance analysis of a novel thermal energy storage integrated solar dryer for drying of coconuts. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022.
- [5] Chaatouf, D., Salhi, M., Raillani, B., Amraqui, S., Mezrhab, A. Assessment of a heat storage system within an indirect solar dryer to improve the efficiency and the dynamic behavior. *Journal of Energy Storage*. 2021; 41.

- [6] Salve, S., Fulambarkar, A. M. A solar dryer for drying green chili in a forced convection for increasing the moisture removing rate. *Materialstoday Proceedings*. 2021; 45(2): pp. 3170-3176.
- [7] Abdelkader, T. K., Salem, A. E., Zhang, Y., Gaballah, E. S., Makram, S. O., Fan, Q. Energy and exergy analysis of carbon nanotubes-based solar dryer. *Journal of Eergy Storage*. 2021; 39.
- [8] Chaouch, W. B., Khellaf, A., Mediani, A., Slimani, M. E. A., Loumani, A., Hamid, A. Experimental investigation of an active direct and indirect solar dryer with sensible heat storage for camel meat drying in Sahara environment. *Solar Energy*. 2018.
- [9] Rajesh, S., Choudary, R. B. A cost effective solar air heater (SAH) with recycled alluminium can (rac) collector. *Journal Material Science Mechanical Engineering*. 2017; 4.
- [10] Mohanraj, M., Chandrasekar, P. Performance of a solar dryer with and without heat storage material for copra drying. *International Journal of Global Energy Issues*. 2009; 31(2): pp. 112-121.
- [11] Komolefo, A., Adekojo, C., Wahed, M. Design and fabrication of a forced convection solar dryer integrated with heat storage materials. *Ann. Chim. Sci. Des. Materiaux*. 2018; 42: pp. 22-39.
- [12] Kareem, M. W., Habib, K., Sopian, K., Ruslan, M H., Multi-pass solar air heating collector system for drying of screw-pine leaft (*Pandanus tectorius*). *Renewable Energy*. 2017; 112: pp. 413-424.
- [13] Lakshmi, D. V. N., Muthukumar, P., Nayak, P. K. Eksperimental investigation on active solar dryer integrated with thermal storage for drying of black pepper. *Renewable Energy*. 2020.
- [14] Selimefendegil, F., Sirin, C. Experimental investigation of a parabolic greenhouse dryer improved with copper oxide nano-enhanced laten thermal energy storage unit. *International Journal of Energy Research*. 2021.
- [15] Lamrani, B., Draoui, A. Thermal performance and economic analysis of an indirect solar dryer of wood integrated with packed-bed thermal energy storage system: A case study of solar thermal applications. *Dryng Technology: An International Journal*. 2020; 39(10): pp. 1371-1388.
- [16] Maulid, D. Y., Putra, R. S., Nusaibah, Abrian, S., Pangestika, W., Arumsari, K., Widiyanto, D. I., Yuniarti, E. Kandungan proximat keripik kulit ikan tenggiri (*scomberomorus commerson*) dengan metode pengeringan yang berbeda. *Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan*. 2021; 14(2): pp. 445-451.
- [17] Lilir, F. B., Palar, C. K. M.,Lontaan, N. N. Pengaruh lama pengeringan terhadap proses pengolahan kerupuk kulit sapi. *Zootec*. 2021: 41(1): pp. 214-222.
- [18] Devahastin, S., Pitaksuriyarat, S. Use of laten heat storage to conserve energy during drying and its effect on drying kinetics of a food product. *Aplied Thermal Engineering*. 2006; 26: pp. 1705-1713.
- [19] Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., Dewwit, D. V. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Edisi Ketujuh. John Wiley & Sons, Inc. USA. 2011.
- [20] Rahayuningtyas, A., Seri, I. K. Pengaruh suhu dan kelembaban udara pada proses pengeringan singkong (studi kasus: pengeringan tipe rak). *Pusat Pengembangan Teknologi Tepat Guna, LIPI*. 2016.
- [21] Sari, L. J. Uji performansi alat pengering gabah tipe Dmp-1 dengan penambahan batu alor hitam pada ruang kolektor dan ruang pengering sebagai penyimpan panas. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*. November 2017; 5(3): pp. 257-264.