



The 5th Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH)

Website Ciastech 2022 : <https://ciastech.widyagama.ac.id>

Open Conference Systems : <https://ocs.widyagama.ac.id>

Proceeding homepage : <http://publishing-widyagama.ac.id/ejournal-v2/index.php/ciastech/index>

P-ISSN : 2622-1276

E-ISSN: 2622-1284

SIMULASI PERBANDINGAN PERFORMA PENGERINGAN TIPE PUTAR ARUS SEARAH DAN ARUS BALIK PADA BIOMASSA

Purbo Suwandono^{1*)}, Nova Risdiyanto Ismail²⁾, Akhmad Farid³⁾, Achmad Burhanudin⁴⁾, Mochamad Muzaki⁵⁾

^{1,3)} Program Studi D3 Mesin Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang

^{2,4)} Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang

⁵⁾ Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Malang

INFORMASI ARTIKEL

Data Artikel :

Naskah masuk, 25 September 2022

Direvisi, 22 Oktober 2022

Diterima, 5 November 2022

Email Korespondensi :

purbo@widyagama.ac.id

ABSTRAK

Pengeringan merupakan salah satu cara untuk mengurangi kadar air bahan. Potensi pellet kayu jati yang dimiliki Indonesia sangat besar dan diharapkan mampu menjadi energi alternatif. Pengeringan pellet kayu jati adalah salah satu faktor yang perlu diteliti karena dengan musim yang tidak menentu menyebabkan proses pengeringan pellet kayu jati menjadi terhambat. Pengeringan yang sering digunakan adalah tipe tipe putar arus searah (co-current) dan arus balik (counter-current). Metode yang digunakan untuk melakukan penelitian adalah dengan menggunakan simulasi dengan beberapa parameter telah ditentukan. Akan diketahui performa dari perbandingan kedua tipe pengeringan tersebut. Dari simulasi yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa performa pengeringan dengan tipe arus balik (counter-current) memiliki temperatur biomassa yang lebih tinggi, hal ini dikarenakan adanya gaya gesekan antara fluida dengan biomassa. Pengeringan dengan tipe arus balik cocok digunakan untuk biomassa yang memiliki kandungan air yang tinggi, sedangkan pengeringan dengan tipe searah cocok digunakan untuk biomassa dengan kandungan air yang rendah.

Kata Kunci : *Pengeringan, Pelet kayu jati, arus searah, arus balik, biomassa*

1. PENDAHULUAN

Pengeringan merupakan salah satu cara untuk mengurangi kadar air bahan. Berbagai peralatan pengeringan dapat digunakan untuk mengeringkan biomassa pelet kayu jati. Pengeringan biomassa pellet kayu jati biasanya menggunakan sinar matahari dengan cara di jemur [1]. Namun, proses pengeringan menggunakan sinar matahari memiliki beberapa kelemahan seperti hujan dan kondisi alam lainnya. Hal ini dapat menghambat proses pengeringan [2].

Sumber energi biomassa yang dikembangkan dari hasil hutan adalah *wood pellet* (energi yang berasal dari biomassa kayu). Pelet kayu jati cocok digunakan sebagai bahan bakar untuk kebutuhan rumah tangga, pertanian dan industri skala besar, industri pembangkit listrik. Pelet kayu jati, yang memiliki kapasitas pelepasan panas yang sama dengan batubara, mendapatkan penerimaan pasar karena dunia saat ini sedang bergerak menuju mekanisme pembangunan yang bersih untuk mengurangi dampak gas rumah kaca [3].

Banyak faktor yang dipertimbangkan ketika merancang alat pengeringan yang dapat mengeringkan biomassa secara efisien dan efektif. Faktor-faktor seperti sensitivitas panas, ukuran partikel, dan kemampuan aliran pengering semuanya berinteraksi untuk mempengaruhi bagaimana proses pengering akan berdampak pada kinerja pengeringan dalam biomassa. Pengering harus dirancang untuk bekerja secara optimal dengan karakteristik biomassa tersebut. Salah satu faktor penting dalam merancang pengering kontinu baik tipe searah maupun berlawanan adalah karakteristik produk akhir yang diinginkan. Konfigurasi aliran udara, atau arah di mana gas proses mengalir melalui pengering sangat berpengaruh terhadap keadaan biomassa.

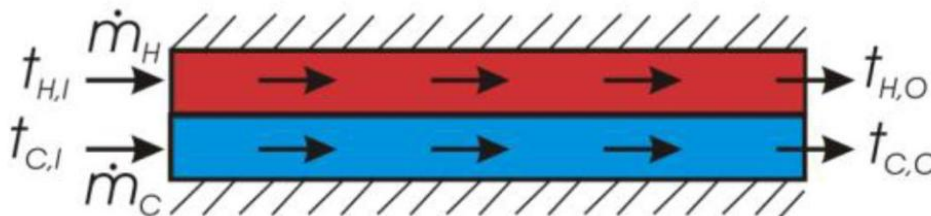
Pengering kontinu tersedia dalam dua jenis konfigurasi aliran udara: arus searah dan arus balik. Kedua tipe pengering tersebut telah dikembangkan melalui penelitian dan berbagai macam pengembangan untuk memaksimalkan efisiensi termal dari proses pengeringan kontinu. Pemilihan konfigurasi mana yang paling sesuai dengan proses didasarkan pada sifat biomassa, serta persyaratan proses secara keseluruhan, sehingga penting untuk memahami cara kerja setiap konfigurasi aliran udara untuk sepenuhnya memahami jenis mana yang paling sesuai dengan proses pengeringan yang diinginkan [4].

Di bawah ini adalah gambaran umum tentang kelebihan dan kekurangan dari kedua jenis desain pengering tipe kontinu ini.

Pengeringan searah (co-current) secara kontinu

Pengeringan tipe searah *co-current* ini digunakan untuk biomassa yang peka terhadap panas dan baik digunakan untuk menjaga kualitas produk dimana 90% dari semua pengering kontinu adalah arus searah karena alasan ini. Secara umum keuntungan utama dari tipe pengering searah ini adalah kontrol yang lebih besar atas suhu biomassa dan menghindari panas berlebih. Sedangkan kekurangan dari tipe ini adalah sedikit kurang efisien secara termal daripada aliran udara arus balik [5].

Pengeringan aliran searah atau *co-current* terjadi ketika udara pengeringan mengalir ke arah yang sama dengan biomassa, atau lebih tepatnya, ketika biomassa dan gas proses memasuki pengering di ujung ruang pengering yang sama, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Pengeringan searah co-current secara kontinu

Seperti disebutkan, sebagian besar pengering kontinu menggunakan desain aliran udara arus searah. Konfigurasi ini dipilih karena beberapa alasan:

Dengan memasukkan biomassa dan gas proses di lokasi yang sama, gas proses berinteraksi dengan biomassa dalam keadaan basah, menghasilkan pengurangan kelembaban permukaan yang cepat. Karena pengeringan awal yang cepat ini, pengering arus searah bekerja paling baik dengan

biomassa yang memiliki permukaan tinggi / kelembaban bebas seperti kaca. Kelembaban permukaan yang lebih rendah di saluran masuk pengering juga mendorong peningkatan kemampuan alir (*flowability*) dimana biomassa melalui pengering pada bagian atas, karena biomassa cenderung tidak menempel saat jatuh dan mengalir [6].

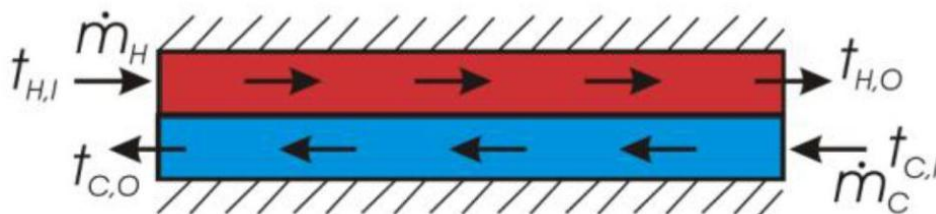
Pengering arus searah sangat ideal untuk mengeringkan biomassa yang sensitif terhadap panas. Ketika suatu biomassa peka terhadap panas, panas berlebih dapat mengakibatkan reaksi yang tidak diinginkan, perubahan warna biomassa yang tidak diinginkan pada produk, degradasi produk, atau bahkan risiko kebakaran. Dengan memanfaatkan konfigurasi arus searah dengan biomassa yang peka terhadap panas, jauh lebih mudah untuk mencegah panas berlebih, karena gas terpanas bersentuhan dengan biomassa basah dan suhu biomassa malah menurun saat bergerak melalui pengering, mencegah potensi panas berlebih [7].

Kerugian utama dari desain arus searah adalah bahwa ia sedikit kurang efisien secara termal, karena gas buang tidak pernah bisa lebih dingin daripada suhu biomassa, membutuhkan lebih banyak energi untuk dihabiskan untuk menjaga suhu gas buang tetap tinggi. Kebutuhan untuk memastikan bahwa gas buang melebihi suhu biomassa sehingga menghasilkan energi yang terbuang dan konsumsi biomassa bakar yang sedikit lebih besar.

Pengeringan arus balik (counter-current) secara kontinu

Pengeringan tipe arus balik (*counter-current*) baik digunakan untuk biomassa dengan kelembaban yang tinggi atau yang membutuhkan pemanasan ke suhu yang lebih tinggi. Keuntungan utama untuk tipe pengeringan ini adalah lebih efisien, namun secara umum memiliki beberapa kekurangan yaitu kontrol yang kurang baik pada pemerataan suhu biomassa dan memiliki potensi lebih besar untuk menghasilkan panas yang berlebih [8].

Pengeringan arus balik terjadi ketika gas dan biomassa mengalir ke arah yang berlawanan yaitu, biomassa dimasukkan ke salah satu ujung pengering, sedangkan gas proses dimasukkan ke ujung pengering yang lain, seperti yang ditunjukkan pada ilustrasi di bawah. Biasanya gas pemanas berada di atas dan biomassa berada di bawah.



Gambar 2. Pengeringan arus balik (counter-current secara kontinu

Penting untuk diketahui bahwa suhu gas buang harus selalu di atas titik embun. Potensi suhu gas buang untuk mencapai titik embun lebih besar dengan konfigurasi arus balik dan harus dikelola dengan hati-hati; Jika suhu dibiarkan mencapai titik embun, kondensasi dapat terjadi di saluran dan baghouse dapat menyumbat sistem. Ini sangat mungkin terjadi jika saluran tidak terisolasi.

Sementara hubungan langsung ada antara biomassa dan gas proses dalam desain arus searah, aliran berlawanan dari biomassa dan gas yang digunakan dalam konfigurasi arus balik membuatnya lebih sulit untuk mengontrol suhu biomassa. Karena biomassa bersentuhan dengan gas terpanas dalam keadaan terkering, aliran udara arus balik juga membuatnya lebih mudah untuk memanaskan biomassa secara berlebihan.

Jika suhu gas masuk perlu lebih rendah untuk menghindari biomassa terlalu panas, biomassa bakar tambahan biomassa akan diperlukan, karena lebih banyak udara yang perlu dipanaskan akan diperlukan, yang dapat memotong penghematan energi awal. Berdasarkan pemaparan di atas

menarik untuk diteliti bagaimana performa dari pengeringan searah (*co-current*) secara kontinu dan pengeringan arus balik (*counter-current*) secara kontinu [9].

2. METODE PENELITIAN

Waktu penelitian dilakukan pada bulan September 2022, tempat penelitian di Lab. Komputer Universitas Widyagama. Data-data parameter penelitian menggunakan data sekunder.

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan simulasi. Biomassa yang digunakan adalah wood pellet, dimana wood pellet yang digunakan berasal dari serbuk kayu jati.

Analisa serbuk kayu jati yang digunakan menggunakan Analisa ultimate dan Analisa proximate. Analisa ultimate digunakan untuk memberikan komposisi unsur. Berikut adalah tabel analisis ultimate pellet serbuk kayu jati yang didapatkan dari data sekunder [10]:

Tabel 1. Tabel analisis ultimate pellet serbuk kayu jati

Parameter	Unit	AR
Carbon	% wt	48,27
Hydrogen	% wt	5,13
Nitrogen	% wt	0,13
Oxygen	% wt	37,28

Analisa proximate digunakan untuk mengetahui sifat fisik dari suatu biomassa. Kadar air (*moisture*) yang sesuai dengan standar yang diperbolehkan yaitu sekitar 5-10%. Kadar air yang terkandung dalam suatu bahan yang lebih kecil dari 4 % menyebabkan biomassa mudah menyerap kandungan air yang ada di udara sehingga pellet biomassa akan mudah hancur.

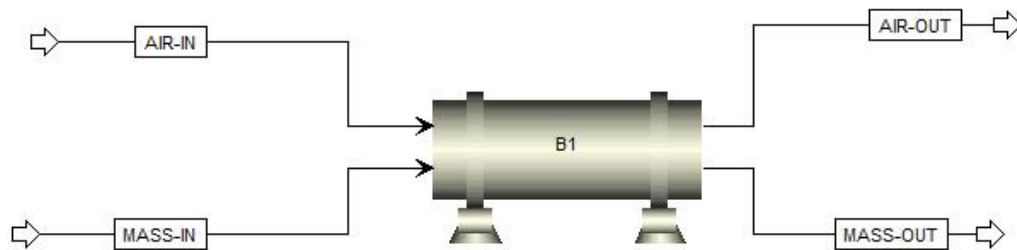
Berikut adalah tabel analisis proximate pellet serbuk kayu jati yang didapatkan dari data sekunder:

Tabel 2. Tabel analisis proximate pellet serbuk kayu jati

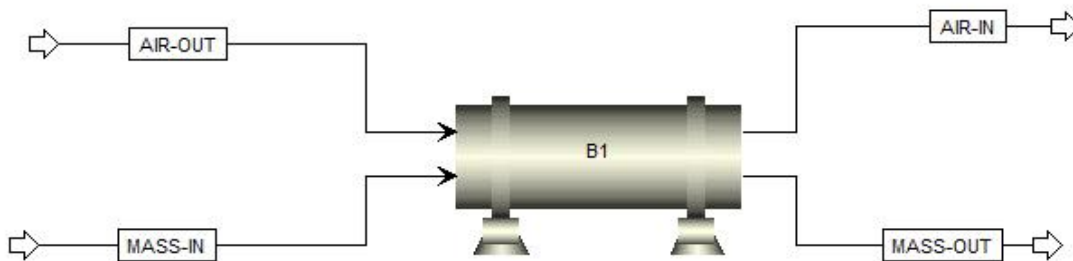
Parameter	Unit	AR (As Received)	DB (Dry Basis)
Total moisture	% wt	7,86	-
Ash content	% wt	1,26	1,36
Volatile matter	% wt	74,89	81,28
Fix carbon	% wt	15,99	17,36
Total sulfur	% wt	0,07	0,07
High heating value	Kcal/kg	4523	4909
Low heating value	Kcal/kg	4210	4210

Beberapa langkah digunakan untuk melakukan setup awal simulasi. Hal pertama yang dilakukan adalah dengan melakukan setup spesifikasi material dan molekul yang terlibat dalam proses simulasi. Dalam proses pengeringan ini hanya ada 3 material yang digunakan yaitu biomassa, udara dan air. Proses dianggap keadaan ideal dimana tidak ada losses perpindahan panas. Properties biomassa yang digunakan memiliki spesifikasi tersendiri sehingga digunakan HCOALGEN dan DCOALIGT untuk menginput parameter proximate analysis, ultimate analysis dan sulfuric analysis. Properties aliran stream menggunakan MIXNCPSD dimana terdapat padatan solid yang memiliki distribusi ukuran partikel yang berbeda. Pengering yang digunakan dalam simulasi adalah tipe kontinu yang berputar (*continuous rotary dryer*).

Setelah dilakukan setting parameter awal, langkah selanjutnya adalah dengan melakukan input data udara masuk (*air-in*), udara keluar (*air-out*), biomassa masuk (*mass-in*) dan biomassa keluar (*mass-out*).



Gambar 3. Simulasi pengering tipe berputar secara kontinu dengan tipe aliran searah (co-current)



Gambar 4. Simulasi pengering tipe berputar secara kontinu dengan tipe aliran arus balik (counter-current)

Data biomassa masuk (mass-in) yang dimasukkan adalah temperature biomass 20°C, pressure (tekanan) 1 bar, input properties biomassa seperti proximate, ultimate dan sulfuric analysis. Distribusi partikel dibuat seragam sebesar 2 cm. Dalam simulasi biomassa yang dimasukkan sebesar 1000 kg/jam dengan asumsi air yang terkandung dalam biomassa 250 kg/jam.

Data udara masuk (air-in) yang dimasukkan dalam simulasi adalah temperature udara 100oC, tekanan 1 bar, dengan asumsi jumlah udara masuk 15000 kg/jam.

Data selanjutnya adalah memilih tipe pengering apakah tipe diam (batch) atau kontinu (continuous), dalam simulasi ini dipilih tipe kontinu. Selanjutnya dipilih tipe aliran searah atau berlawanan. Panjang pengering diasumsikan sepanjang 5 meter dan waktu tinggal selama 0,5 jam.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

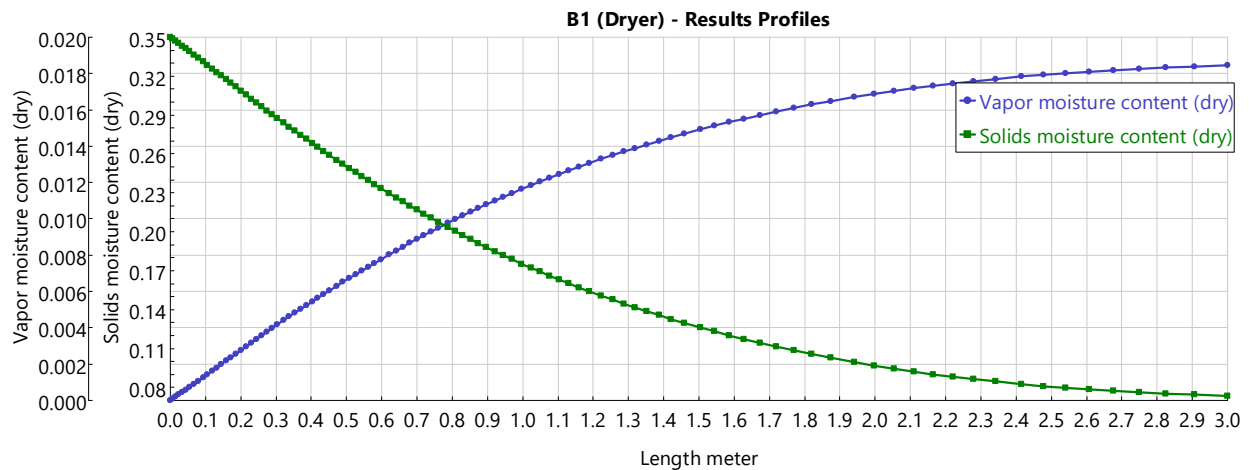
Setelah dilakukan simulasi dan dilakukan running terhadap parameter dan model yang telah dibuat, didapatkan performa dari alat pengering yang memiliki karakteristik yang berbeda antara aliran udara panas tipe searah dan aliran udara panas tipe arus balik.

Pengeringan searah (co-current) secara kontinu



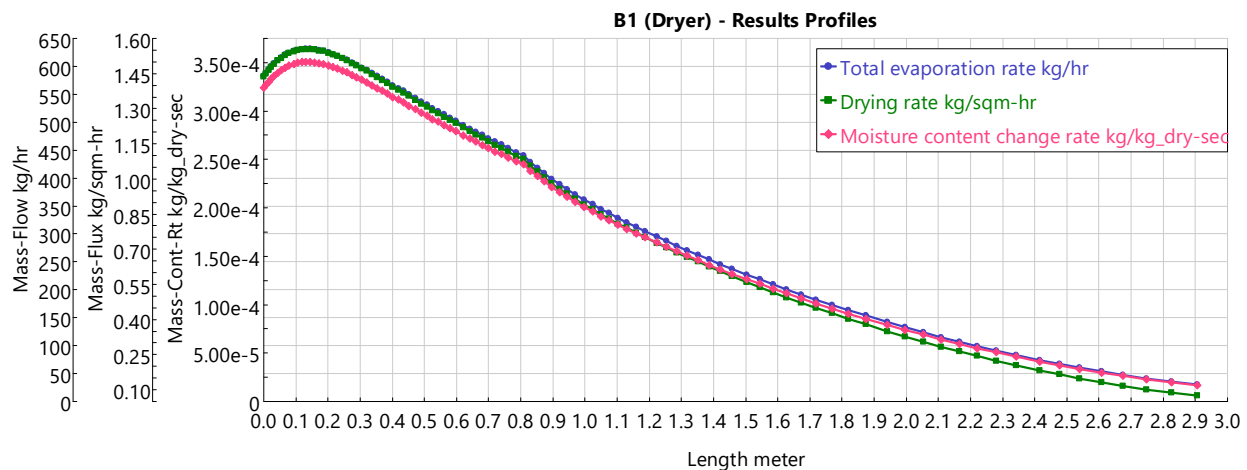
Gambar 5. Grafik hubungan antara Panjang alat pengering dengan temperature uap dan temperature padatan untuk tipe pengering searah.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa performa biomassa semakin meningkat seiring dengan penambahan panjang atau jarak dari awal biomassa masuk (biomassa-in) hingga biomassa keluar (biomassa-out). Temperatur udara panas mengalir semakin menurun sedangkan temperature biomassa semakin meningkat, hal ini dikarenakan adanya transfer panas antara biomassa dan udara panas secara terus menerus dengan aliran searah. Temperatur biomassa paling tinggi didapatkan pada jarak 3 m atau pada saat biomassa keluar dengan temperature sekitar 46°C.



Gambar 7. Grafik hubungan antara panjang alat pengering dengan kandungan air biomassa dan kandungan air udara pada pengering tipe searah.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa kandungan air yang ada pada biomassa mulai jenuh untuk terjadi pengeringan pada Panjang 2,5 m dan paling maksimal pada Panjang 3 m. Seiring dengan berkurangnya kandungan air pada biomassa, kandungan air terserap oleh udara panas, hal tersebut dikarenakan adanya perpindahan massa antara biomassa dengan uap panas.

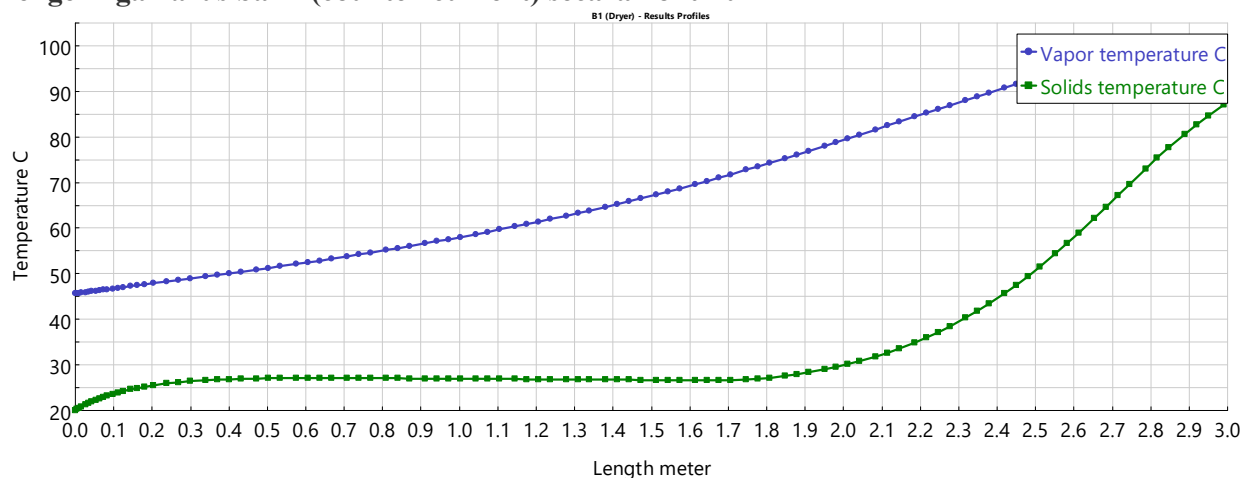


Gambar 8. Grafik hubungan antara panjang alat pengering dengan kandungan air biomassa dan kandungan air udara pada pengering tipe searah.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa total laju evaporasi, laju pengeringan dan laju perubahan kandungan air pada biomassa memiliki trend grafik yang hampir sama, karena ketiga hal tersebut saling berkaitan. Laju pengeringan semakin menurun seiring dengan penambahan jarak hal tersebut menunjukkan bahwa proses pengeringan paling banyak terjadi pada jarak yang dekat dengan pemanas yaitu pada jarak sekitar 0,15 m. Seiring dengan penambahan jarak pengeringan, laju pengeringan akan semakin menurun. Karena suhu biomassa berkorelasi langsung dengan suhu gas proses, desain arus searah membuat pengendalian suhu biomassa kering jauh lebih mudah. Ini sangat ideal untuk biomassa yang sensitif terhadap panas yang harus dijaga di bawah ambang batas suhu tertentu selama proses pengeringan.

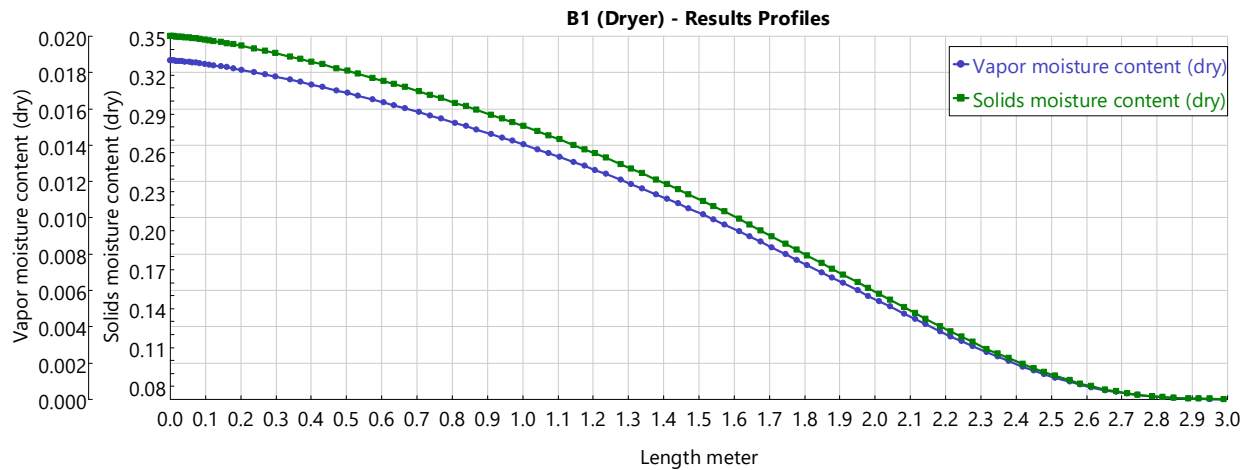
Interaksi biomassa dan gas proses di lokasi pengering yang sama menyebabkan pendinginan awal yang cepat dari gas proses, menyebabkan cangkang pengering berjalan pada suhu permukaan yang lebih dingin. Suhu yang lebih rendah ini mengurangi tekanan pada cangkang pengering, meningkatkan masa pakai yang lebih lama.

Pengeringan arus balik (counter-current) secara kontinu



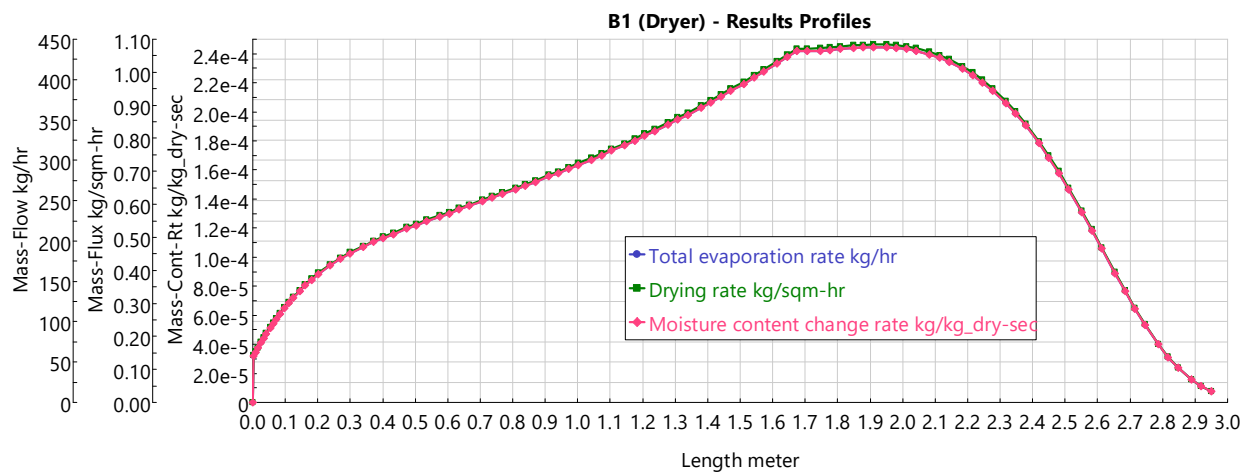
Gambar 9. Grafik hubungan antara Panjang alat pengering dengan temperature uap dan temperature padatan untuk tipe pengering arus balik.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa performa biomassa semakin meningkat dengan signifikan seiring dengan penambahan panjang atau jarak dari awal biomassa masuk (biomassa-in) hingga biomassa keluar (biomassa-out). Temperatur udara panas mengalir semakin meningkat dan temperature biomassa semakin meningkat dengan drastic melebihi performa dari pengering arus searah, hal ini dikarenakan adanya transfer panas yang tinggi antara biomassa dan udara panas secara terus menerus dengan aliran panas yang berlawanan dengan aliran biomassa. Temperatur biomassa paling tinggi didapatkan pada jarak 3 m atau pada saat biomassa keluar dengan temperature sekitar 90 °C.



Gambar 10. Grafik hubungan antara panjang alat pengering dengan kandungan air biomassa dan kandungan air udara pada pengering arus balik.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa kandungan air yang ada pada biomassa mulai jenuh untuk terjadi pengeringan pada Panjang 2,5 m dan paling maksimal pada Panjang 3 m hingga biomassa tidak ada kandungan air sama sekali. Seiring dengan berkurangnya kandungan air pada biomassa, kandungan air terserap oleh udara panas, hal tersebut dikarenakan adanya perpindahan massa antara biomassa dengan uap panas.



Gambar 11. Grafik hubungan antara panjang alat pengering dengan kandungan air biomassa dan kandungan air udara pada pengering arus balik.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa total laju evaporasi, laju pengeringan dan laju perubahan kandungan air pada biomassa memiliki trend grafik yang hampir sama, karena ketiga hal tersebut saling berkaitan. Laju pengeringan semakin meningkat seiring dengan penambahan jarak hal tersebut dikarenakan adanya gaya gesekan fluida antara fluida panas dengan biomassa. Laju pengeringan semakin meningkat hingga mencapai optimal pada jarak sekitar 1,7 m dan konstan hingga jarak 2,2 m, hingga selanjutnya terus mengalami penurunan hingga pada jarak 3 m.

Karena biomassa bersentuhan dengan gas proses terpanas pada kondisi paling dehidrasi, konfigurasi arus balik sangat ideal untuk biomassa dengan kelembaban terikat. Kelembaban terikat biasanya tidak dipengaruhi oleh flash-off awal dari kelembaban bebas, melainkan membutuhkan pemanasan yang lebih bertahap untuk mengeluarkan uap air dari dalam biomassa.

Demikian pula, biomassa yang membutuhkan suhu tinggi untuk melepaskan kelembabannya juga paling baik disajikan dalam pengering kontinu arus balik, karena biomassa bersentuhan dengan gas terpanas menjelang akhir proses pengeringan. Pengering arus balik sering dipilih karena efisiensinya, karena lebih banyak panas dihabiskan untuk mengeringkan biomassa. Dengan kata lain, karena pengering arus balik dapat mentolerir suhu gas yang lebih rendah dari biomassa, lebih sedikit biomassa bakar yang dibutuhkan dan kelebihan energi tidak terbuang dalam gas buang.

Hasil penelitian sudah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [11][12], dimana kadar air produk mencapai nilai yang lebih rendah setelah pengeringan dalam konfigurasi arus balik daripada yang arus searah. Dengan meningkatnya suhu udara pengeringan saluran masuk, konfigurasi arus balik memiliki nilai konsumsi energi spesifik yang lebih rendah daripada yang arus searah. Jadi, untuk jumlah air yang diuapkan yang sama, konfigurasi arus balik menggunakan lebih sedikit energi. Efisiensi kelembaban pengeringan, efisiensi energi, dan konsumsi panas spesifik dan tingkat kerusakan ekresi meningkat sekaligus meningkatkan suhu udara pengeringan saluran masuk di kedua konfigurasi. Dengan demikian, penggunaan suhu udara pengeringan yang lebih rendah berkontribusi untuk meningkatkan penggunaan exergy dan untuk mengurangi irreversibilitas termodinamika.

4. KESIMPULAN

Dari simulasi yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa performa pengeringan dengan tipe arus balik (counter-current) memiliki temperatur biomassa yang lebih tinggi, hal ini dikarenakan adanya gaya gesekan antara fluida panas dengan biomassa. Pada pengeringan tipe searah gaya gesekan antara fluida dengan biomassa lebih kecil dibandingkan dengan gaya gesekan fluida dengan biomassa pada pengering tipe arus balik. Hal ini disebabkan perpindahan massa yaitu uap air antara biomassa dengan fluida panas pada pada pengeringan tipe arus balik lebih besar dibandingkan dengan pengeringan tipe arus searah. Pengeringan dengan tipe arus balik cocok digunakan untuk biomassa yang memiliki kandungan air yang tinggi, sedangkan pengeringan dengan tipe searah cocok digunakan untuk biomassa dengan kandungan air yang rendah.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penelitian ini.

6. REFERENSI

- [1] I. Mawardi, "Peningkatan Karakteristik Biopellet Kayu Kelapa Sawit sebagai Sumber Energi Alternatif," in *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 2019, vol. 3, no. 1, p. 230.
- [2] E. Y. Setyawan *et al.*, "Performance of turmeric dryer cabinets with LPG fuel using temperature control and air speed," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 420, no. 1, p. 12044,

- 2018, doi: 10.1088/1757-899X/420/1/012044.
- [3] J. R. Nugraha, "Karakteristik termal briket arang ampas tebu dengan variasi bahan perekat lumpur lapindo," 2013.
 - [4] H. K. J. Munthe, H. Ambarita, D. M. Nasution, and A. H. Siregar, "Rancang Bangun Ruang Pengering untuk Alat Pengering Biji Kopi Sistem Kontinu dengan Desikan," *DINAMIS*, vol. 7, no. 1, p. 11, 2019.
 - [5] W. P. Aman, A. Jading, and M. K. Roreng, "Konstruksi dan kinerja prototipe alat pengering pati sagu tipe rotari bersumber panas biomassa," *Agritechnology*, vol. 1, no. 1, pp. 23–33, 2019.
 - [6] K. Abdullah, S. M. Nur, T. A. S. W. Jumino, and P. K. E. Terbarukan, "GASIFIKASI LIMBAH BIOMASSA," in *PROSIDING SEMINAR HASIL PENELITIAN SEMESTER GANJIL 2017/2018 UNIVERSITAS DARMA PERSADA*, 2018.
 - [7] I. Irawan, I. I. Mardiyana, H. Budiarto, and F. Umam, *Gasifikasi: Teori dan Perancangan*. Media Nusa Creative (MNC Publishing), 2022.
 - [8] G. Ardhaneswari, "PERANCANGAN PABRIK NATRIUM NITRAT DARI NATRIUM HIDROKSIDA DAN ASAM NITRAT DENGAN KAPASITAS 32.000 TON/TAHUN," 2018.
 - [9] G. M. D. Putra, E. Sutoyo, and S. Hartini, "Uji Kinerja alat pengering efek rumah kaca (ERK) hybrid dengan tungku biomassa sebagai sistem pemanas tambahan untuk pengeringan biji pala (*Myristica sp.*)," *J. Tek. Pertan. Lampung*, vol. 3, no. 2, pp. 183–194, 2014.
 - [10] L. Yulianti, N. Hamidi, M. N. Sasongko, and I. A. Ibadurrohman, "Karakteristik Pembakaran Wood Pellet Stove dengan Variasi Geometri dan Blockage Ratio Flame Connector," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 10, no. 3, pp. 327–338, 2019, doi: 10.21776/ub.jrm.2019.010.03.13.
 - [11] A. Echeeri and M. Maalmi, "Performance evaluation of a rotary dryer in both co-current and counter-current configurations," *J. Therm. Eng.*, vol. 7, no. Supplement14, pp. 1945–1957, 2021, doi: 10.18186/THERMAL.1051277.
 - [12] H. Abbasfard, S. Ghader, H. H. Rafsanjani, and M. Ghanbari, "Mathematical Modeling and Simulation of Drying Using Two Industrial Concurrent and Countercurrent Rotary Dryers for Ammonium Nitrate," *Dry. Technol.*, vol. 31, no. 11, pp. 1297–1306, 2013, doi: 10.1080/07373937.2013.791307.