

ANALISA KEHILANGAN PANAS PENGERING KONVEKTIF RUMPUT LAUT DENGAN KELEMBABAN RELATIF BERBEDA

Rian Hadi Prabowo¹⁾, N. Titahelu²⁾, W.M. Rumaherang³⁾

¹⁾S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email: rianhadiprabowo02@gmail.com,

²⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email: titahelun@gmail.com,

³⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura
Email: maxrumaherang72@gmail.com,

ABSTRAK

Penelitian ini difokuskan pada penerapan penukar kalor bare tube bank susunan in-line sebagai sistem pemulihan limbah panas untuk memanfaatkan limbah panas dari pengering konvektif dengan suhu 60% (yang terbuang ke lingkungan). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kelembaban yang efektif untuk mempersingkat waktu pengeringan rumput laut dan menghemat pemakaian daya listrik. Nilai kelembaban bervariasi dari 30% hingga 70%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kelembaban, dimana efektivitas maksimum pada kelembaban 70% untuk kondisi operasi sebelum dan sesudah menerapkan pemulihan limbah panas masing-masing sebesar 70,47% dan 57,21%, sedangkan pada efektivitas minimum pada kelembaban 30% untuk kondisi operasi sebelum dan sesudah pemulihan limbah panas masing-masing sebesar 39,07% dan 2,29%. Pemakaian daya listrik sebelum dan sesudah menggunakan pemulihan limbah panas berada pada kelembaban maksimum masing-masing sebesar 10875,42 W dan 9657,49 W, sedangkan pemakaian daya listrik minimum masing-masing sebesar 6086,58 W dan 5227,43 W. Penghematan pemakaian daya listrik sesudah menerapkan pemulihan limbah panas pada kelembaban maksimum masing-masing sebesar 3150W atau 31,50% dan minimum sebesar 3100W atau 31%. Kehilangan panas pengering konvektif sebelum dan sesudah menerapkan pemulihan limbah panas maksimum masing-masing sebesar 12589,25 dan 11684,30 sedangkan minimum sebesar 7582,32 dan 6740,69. Kehilangan panas didominasi oleh perpindahan kalor udara pada kelembaban maksimum sebesar 64,89% dan minimum 49,48%. Disimpulkan bahwa pengering konvektif dengan pemulihan limbah panas memiliki efektivitas maksimum adalah pada nilai kelembaban maksimum dengan penghematan pemakaian daya listrik 15,41%, kehilangan panas 11684,30 didominasi oleh perpindahan kalor udara sebesar 64%.

Kata kunci : Efektivitas, Pengering Konvektif, Kelembaban, Kehilangan Panas, Pemulihan Limbah Panas.

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki kurang lebih 555 spesies dari 8642 spesies rumput laut yang terdapat di dunia. Salah satunya yaitu Rumput laut *Euचेuma cottonii*, rumput laut ini biasanya dipanen dengan kadar air yang sangat tinggi, dapat mencapai 93%. Meskipun memiliki potensi yang besar namun potensi program pengembangan rumput laut masih sangat rendah karena produksinya masih menggunakan proses pengeringan konvensional yaitu pengeringan dengan bantuan sinar matahari. Rumput laut segar mudah rusak dan busuk, maka pengeringan merupakan langkah penting sebelum rumput laut digunakan dalam industri pengolahan. Penjemuran ini dilakukan 2-3 hari tergantung kondisi cuaca. Cara pengeringan dengan bantuan

sinar matahari juga menyebabkan produk terkontaminasi kotoran dari udara luar. Proses pengeringan rumput laut yang telah dilakukan menggunakan tipe pengering; oven, solar dryer, tray dryer. Pengeringan rumput laut direkomendasikan dengan pengering tipe konvektif karena biaya rendah untuk komunitas pembudidaya di negara yang berpenghasilan rendah dan menengah, sebaliknya kelemahan pengering ini yakni waktu pemrosesan lama dan biaya energi yang tinggi. Parameter yang mempengaruhi kinerja pengering yaitu, kelembaban relatif dan kecepatan udara.

Berbagai penelitian terdahulu terkait dengan pengering konvektif diantaranya; pengeringan rumput laut menggunakan energi gelombang mikro telah diobservasi melalui parameter rasio kadar air (MR), laju pengeringan dan difusi efektif. Peningkatan level daya (400-600 watt) berpengaruh terhadap parameter tersebut, level daya 600watt menghasilkan MR terendah (0,19), pengeringan oven waktu pengeringan 285 – 360 menit dengan suhu 70°C yang mampu menurunkan kadar air sebesar 10,69%. Pengeringan rumput laut dengan metode solar dryer dapat mengeringkan bahan hingga kadar air 12,2% dalam waktu 16 jam. Pengering tray dryer dengan waktu pengeringan rumput laut selama 4 jam pada suhu 50°C diperoleh nilai efisiensi sebesar 91,50% . pengering solar hybrid menunjukkan pengeringan pada suhu 60°C kadar air akhir produksi rumput laut 12,2%, pengering kolektor surya menggunakan *exhaust fan* menghasilkan suhu kolektor rata-rata sebesar 79,53° C sehingga efisiensi laju pengeringan produk rumput laut 4,48%. belum ada banyak informasi terkait Perbandingan Kinerja Termal Pengering Konvektif Rumput Laut Dengan dan Tanpa Sistem Pemulihan Limbah Panas.

Sejumlah besar suhu udara panas masih banyak yang terbuang saat melakukan pengeringan, dan memiliki kerugian panas sekitar 60%, Oleh karna itu pengembangan pengembangan pengeringan yang lebih hemat energi dengan menerapkan penukar kalor bare tube bank-line di perlukan.

2. BAHAN DAN METODE

Gambar 1 menampilkan pengering konvektif limbah panas, yang terdiri dari dua bagian utama, yakni pengering konvektif dan penukar kalor *bare tube bank* sebagai sistem pemulihan limbah panas. Komponen pengering konvektif limbah panas terbuat dari bahan *stainless steel* G.304 (pengering dan *casing tube bank*), sedangkan *bare tube bank* terbuat dari material tembaga.



Gambar 1. Skema pengering konvektif limbah panas.

Saluran udara masuk terbuat dari *stainless steel* berukuran 0.0508 m dan saluran udara keluar menggunakan *aluminium flexible metalize ducting* berukuran 0.3048 m. Setelah fabrikasi, saluran udara masuk dan keluar diisolasi sempurna, untuk mencegah kehilangan panas dari permukaan luar saluran udara ke lingkungan. Isolasi menggunakan busa *poliyurethane* (PUF) sebagai lapisan pertama dan pita asbes sebagai lapisan kedua. Bagian bawah dalam pengering konvektif dilapisi pelat *perforated* bergelombang, sehingga diharapkan distribusi media udara pengering dapat berlangsung secara merata dalam ruang pengering. Dinding ruang pengering dilapisi isolator asbes dengan ketebalan 0.3 m pada semua sisi (samping kiri, samping kanan, belakang, bawah dan atas) sehingga dianggap sebagai dinding adiabatik, sedangkan sisi depan tidak dilapisi dan dianggap sebagai dinding isothermal.

Sisi depan pengering konvektif dilengkapi dengan kaca untuk mengontrol kondisi dalam ruang pengering. Tabel 1 menyajikan karakteristik geometri pengering konvektif yang digunakan dalam penelitian ini. Komponen pendukung untuk mengoperasikan pengering konvektif limbah panas berupa; heater sauna sebagai pemanas media pengering (udara) berdaya 1000 W. Penentuan daya heater menggunakan PWM (*Pulse Width Modulator*) yang terkoneksi dengan *temperature control* TX4S-14s.

Tabel 1. Karakteristik geometri pengering konvektif

Parameter	Nilai
Panjang (P_{cd})	0,59 m
Lebar (L_{cd})	0,59 m
Tinggi (H_{cd})	0,62 m
Jumlah rak	3 buah
Kapasitas pengering	3 kg
Jarak rak (b)	0,125 m
Diameter saluran masuk (d_i)	0,0508m
Diameter saluran keluar (d_o)	0,0508m

Mini *centrifugal blower* tipe MC.DE.125 untuk mensirkulasikan media pengering. Untuk mengatur putaran blower menggunakan PWM dan pembacaan putaran (rpm) menggunakan tachometer. Data logger termokopel 16 channel dengan toleransi $\pm 1^\circ\text{C}$, untuk mengukur suhu media pengering pada; saluran masuk, saluran keluar, ruang pengering, dinding adiabatik dan dinding isothermal. Semua pengukuran suhu menggunakan termocoupele tipe-K yang terhubung dengan data logger suhu 16 *channels*. Kalibrasi termokopel pada suhu air 100°C . Hot wire anemometer tipe GM8903 dengan toleransi $\pm 3\% \pm 0.1$ digit, untuk mengukur kecepatan media pengering yang masuk dan keluar pengering. Pencatatan data terukur berupa suhu, kecepatan, kelembaban dan masukan panas dimulai ketika kondisi operasi mencapai kondisi tunak.

Percobaan diawali dengan mengatur suhu pengering pada 50°C , kelembaban (RH) 30%, kecepatan media pengering (v) 2 m/s konstan dan memvariasikan masukan kalor (Q^*) 300 hingga 700 W. Sementara menunggu suhu pengering dan kelembaban mencapai stedi, akan disiapkan *slice* rumput laut untuk ketiga rak dimana masing-masing rak berkapasitas 1 kg. Setelah suhu pengering tercapai, maka produk rumput laut dimasukan kedalam ruang pengering dan proses pengambilan data dimulai, dimana semua parameter terukur secara otomatis datanya akan terbaca pada PC desktop. Data terukur antara lain; suhu, kecepatan, kelembaban, masukan kalor, waktu pengeringan dan kadar air akan terdata dengan baik dalam *file excel*. Percobaan akan selesai jika kadar air rumput laut telah mencapai 30% dan secara otomatis semua sistem akan putus hubungan dengan aliran listrik. Kemudian mengeluarkan produk pengering rumput laut dari dalam pengering konvektif untuk proses pendinginan secara natural. Selanjutnya proses pengujian akan dilakukan berdasarkan Tabel 2 rentang parameter operasional pengering konvektif.

Tabel 2. Rentang Parameter Operasional Pengering Konvektif

Parameter	Rentang
Kecepatan (v), m/s	2
Kelembaban (RH), %	30
Suhu pengering (T_{mp}), C	50
Masukan panas (Q^*), W	300, 400, 500, 600, 700

Berdasarkan gambar 2, maka neraca energi dari volume atur sistem pengering konvektif pada kondisi stedi dinyatakan dalam persamaan (1), yang diperoleh dari

$$E_i - E_o = \frac{dE}{dt} \Rightarrow E_i - E_o = 0 \Rightarrow E_i - E_o \quad (1)$$

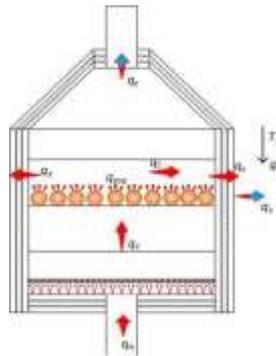
persamaan (1) di tulis dalam neraca kalor

$$Q_h = Q_x + Q_c + Q_r \quad (2)$$

dimana Q_x adalah perpindahan panas konduksi, Q_c adalah perpindahan panas konveksi, dan Q_r adalah perpindahan panas radiasi diabaikan.

$$Q_h = Q_x + Q_c \quad (3)$$

memperlihatkan Gambar 2, selama proses kehilangan panas melalui media pengering (udara) yang keluar ruang pengering dan kehilangan panas media pengering (udara) sekeliling melalui dinding pengering.



Gambar 2. Skema neraca kalor pengering konvektif slice rumput laut.

Kehilangan panas ini dikatakan sebagai kehilangan panas gabungan (*mixture*) karena melalui dua mekanisme perpindahan panas yakni konveksi dan konduksi, dimana perpindahan panas yang terjadi melalui konveksi paksa dan konveksi natural. Selain itu, panas juga dibutuhkan untuk menguapkan uap air dari rumput laut. disebut kehilangan panas evaporasi. Dengan demikian, maka persamaan (3) diuraikan berikut ini, yang di peroleh dari

$$Q_h = Q_{ud} + (Q_{ud,h} + Q_{x,w} + Q_{eud,c}) + Q_{eva} \quad (4)$$

jika $(Q_{ud,h} + Q_{x,w} + Q_{eud,c}) = Q_{eva}$ maka di peroleh persamaan (5)

$$Q_h = Q_{ud} + Q_{mix} + Q_{eva} \quad (5)$$

Masukan panas (*heat input*) dari heater merupakan besarnya pemakaian daya listrik oleh heater dan dihitung menggunakan persamaan (6) di peroleh dari

$$Q_h = V \cdot I \quad (6)$$

Dimana: V adalah tegangan listrik (voltage), dan I adalah arus listrik (ampere).

Untuk menghitung kehilangan panas melalui udara panas yang keluar meninggalkan pengering konvektif menggunakan persamaan (7)

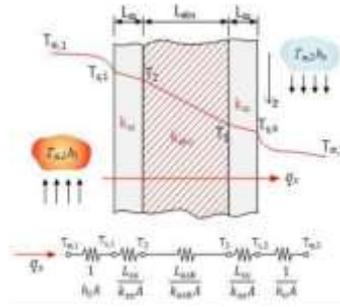
$$Q_c = \dot{m}_{ud} \cdot c p_{ud} (T_{ud,i} - T_{ud,o}) \quad (7)$$

Perpindahan panas gabungan ini dianalisis berdasarkan Gambar 3 yang terkait dengan distribusi temperatur pada dinding komposit susunan seri dan konsep tahanan termal.

Temperatur film yang terjadi diantara media pengering yang bersuhu ($T_{\infty,1}$) dengan dinding bagian dalam yang bersuhu ($T_{s,1}$) dihitung menggunakan persamaan (8),

$$T_f = (T_{\infty,1} + T_{s,1})/2 \quad (8)$$

Sifat termo-fisika materi yang bekerja pada ruang pengering konvektif ditentukan berdasarkan temperatur film persamaan (8), diperoleh dari antara lain; viskositas kinematik (ν), bilangan Prandtl (Pr), konduktivitas termal (k).



Gambar 3. Skema distribusi temperatur dan tahanan termal dinding komposit pengering konvektif

Laju aliran massa fluida media pengering dihitung menggunakan persamaan (9),

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A \quad (9)$$

dimana ρ adalah densitas fluida (kg/m^3), V adalah kecepatan fluida media pengering (m/s), A adalah luas penampang perpindahan kalor (m^2).

Fluida media pengering didisirkulasikan oleh blower sehingga perpindahan kalor konveksi paksa yang terjadi dalam pengering konvektif dihitung menggunakan persamaan (10),

$$ReD = \frac{4\dot{m}}{\pi \cdot D_h \cdot \mu} \quad (10)$$

Dimana ν adalah viskositas kinematik fluida (m^2/s), D_h adalah diameter hidrolis pengering konvektif (m)

$$D_h = \frac{4Ac}{P} = \frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{2ab}{(a+b)} \quad (11)$$

Dimana: a dan b adalah panjang sisi penampang persegi panjang (m) pengering konvektif. Bilangan Nusselt merupakan fungsi medan aliran yaitu parameter aliran yakni bilangan Reynold (ReD) dan parameter fluida yakni bilangan Prandtl (Pr). Hubungan dari ketiga variabel tersebut tergantung dari pola aliran dan lintasannya, sehingga bilangan Nusselt dari fluida media pengering dapat dihitung menggunakan persamaan (12),

$$Nu_D = 0.023 \cdot (Re_D)^{4/5} \cdot (Pr)^n \quad (12)$$

Dimana: $n = 0.4$ jika $T_s > T_f$.

Koefisien konveksi paksa dari fluida media pengering dalam ruang pengering dapat dihitung menggunakan persamaan (13),

$$h_i = \frac{Nu_D \cdot k}{D_h} \quad (13)$$

Dimana: k adalah konduktivitas termal fluida ($W/m \cdot K$).

Perpindahan kalor konveksi natural yang terjadi diantara dinding bagian luar dengan fluida sekeliling, dimana proses ini dikenai mekanisme perpindahan kalor konveksi natural. Temperatur film yang terjadi diantara dinding bagian luar pengering konvektif yang bersuhu ($T_{s,o}$) dengan fluida sekeliling yang bersuhu ($T_{\infty,o}$) dihitung menggunakan persamaan (14)

$$T_f = \frac{T_{s,o} + T_{\infty,o}}{2} \quad (14)$$

Transisi dari konveksi natural pada lapisan batas tergantung gaya relativitas tarik menarik dari gaya bouyanci dan kekentalan didalam fluida. parameter tersebut disebut bilangan Rayleigh (Ra_L) yang dihitung menggunakan persamaan (15)

$$Ra_L = g \cdot \beta (T_{s,o} - T_{\infty,o}) L^3 / \nu \cdot \alpha \quad (15)$$

dimana: g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), β adalah koefisien ekspansi termal volumetrik (K^{-1}). L adalah panjang karakteristik dinding vertikal (m) dan α adalah difusitas panas (m^2/s).

Bilangan Nusselt merupakan perbandingan diantara konveksi dan konduksi dari fluida, yang dihitung menggunakan persamaan (16)

$$\overline{Nu}_L = 0.68 + \frac{0.67(Ra_L)^{1/4}}{[1+(0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \quad (16)$$

Koefisien konveksi natural pada sisi luarpengering dapat dihitung dengan persamaan (17)

$$h_{o,n} = \frac{Nu_D \cdot k}{L} \quad (17)$$

Tahanan termal total merupakan penjumlahan dari tahanan termal konveksi paksa, tahanan termal konduksi dan tahanan termal konveksi natural akibat perpindahan kalor gabungan yang terjadi didalam pengering konvektif ke udara sekeliling, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (18)

$$R_{tot} = \frac{1}{h_f A} + \frac{L_{ss}}{k_{ss} A} + \frac{L_{abs}}{k_{abs} A} + \frac{L_{ss}}{k_{ss} A} + \frac{1}{h_o A} \quad (18)$$

Dimana: L adalah tebal dinding (m), k adalah konduktivitas termal dinding ($W/m \cdot K$), subskrip ss dan abs adalah jenis material *stainless steels* dan asbes.

Fluks kalor atau laju perpindahan kalor per satuan luas dinyatakan sebagai perbandingan antara gradien suhu fluida dan total tahanan termal, dapat dihitung menggunakan persamaan (19)

$$q_{mix}'' = \frac{T_{\infty,i} - T_{\infty,o}}{R_{tot}} \quad (19)$$

Dimana $T_{\infty,i}$ adalah suhu fluida panas dalam pengering (K), $T_{\infty,o}$ adalah suhu fluida sekeliling (K).

Dengan demikian perpindahan panas gabungan diperoleh dari hasil perkalian fluks panas gabungan dan luas permukaan pengering konvektif, yang dihitung menggunakan persamaan (20)

$$Q_{mix} = q_{mix}'' \cdot A_{cd} \quad (20)$$

Dimana A_{cd} adalah luas permukaan perpindahan panas pengering konvektif (m^2).

Perpindahan kalor evaporasi merupakan kalor yang dibutuhkan untuk mendisipasi air yang berada dalam produk rumput laut sehingga menjadi produk rumput laut kering dengan kadar air akhir tertentu. Perpindahan kalor evaporasi merupakan jumlah kalor yang masuk ke sistem pengering konvektif dikurangi kalor yang keluar sistem pengering konvektif, dapat dihitung menggunakan persamaan (21)

$$Q_{eva} = Q_h - (Q_{ud} + Q_{mix}) \quad (21)$$

Kehilangan kalor dari pengering konvektif merupakan penjumlahan dari perpindahan kalor gabungan, perpindahan kalor udara dan perpindahan kalor evaporasi, yang dihitung menggunakan persamaan (22)

$$Q_{loss} = Q_{ud} + Q_{mix} + Q_{eva} \quad (22)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

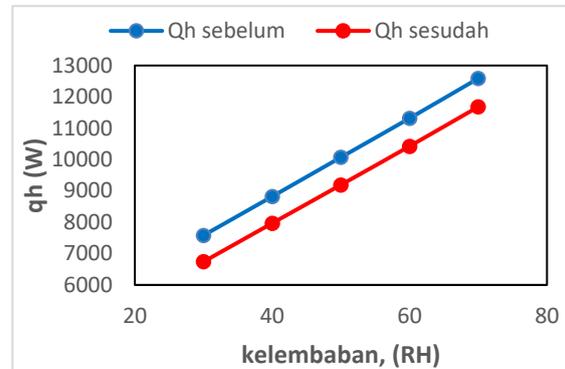
Hasil eksperimen pengering konvektif limbah panas rumput laut, dilakukan berdasarkan prosedur penelitian dan Tabel 2 rentang parameter operasional, maka diperoleh hasil pengukuran berupa data suhu, kecepatan media pengering (udara), kelembaban, masukan panas, tegangan listrik, arus listrik, waktu pengeringan, berat basah dan berat kering rumput laut.

Analisis efektivitas pengering konvektif limbah panas rumput laut berdasarkan balans energi, yang terdiri dari energi *input* yakni perpindahan panas *heater* sama dengan energi *output* yakni perpindahan panas udara, perpindahan panas gabungan dan perpindahan panas evaporasi.

Keseluruhan analisis akan bermuara pada analisis efektivitas pengering konvektif limbah panas dan analisis kadar air rumput laut

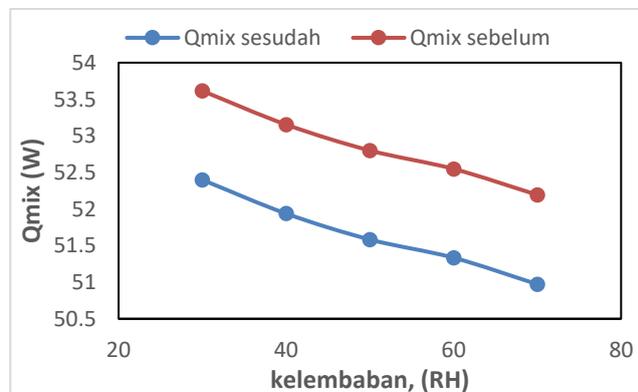
Dilakukan kajian analitik untuk mendapatkan efektivitas pengering konvektif limbah panas rumput laut yang diuraikan berdasarkan karakteristik perpindahan panas untuk kondisi operasi sebelum dan sesudah menerapkan pemulihan limbah panas akan dijabarkan sebagai berikut:

Terlihat bahwa meningkatnya kelembaban mempengaruhi perpindahan kalor heater (Q_h) untuk kedua kondisi operasi. Untuk nilai perpindahan kalor heater maksimal masing-masing untuk kondisi operasi sebelum dan sesudah menerapkan pemulihan limbah panas sebesar 15543,25 W dan 11618,43 W berada pada kelembaban (RH) sebesar 70%, sebaliknya nilai perpindahan kalor heater minimal untuk kedua kondisi operasi masing-masing sebesar 10100,68 W dan 6683,13 W berada pada kelembaban (RH) sebesar 30%.



Gambar 4. Perilaku kurva perpindahan kalor heater terhadap kelembaban pada kondisi operasi sebelum dan sesudah menerapkan pemulihan limbah panas

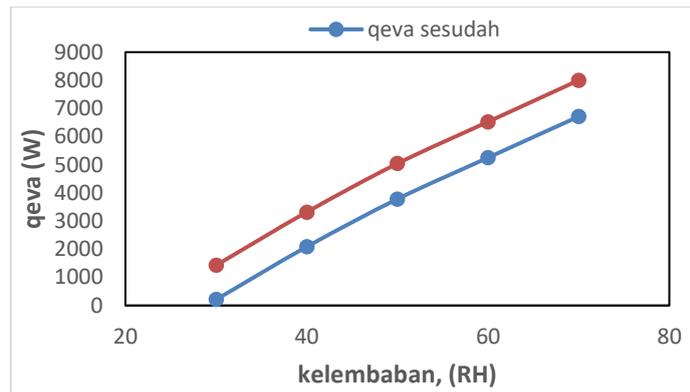
Terlihat bahwa meningkatnya kelembaban mempengaruhi perpindahan kalor gabungan (Q_{mix}) untuk kedua kondisi operasi. Untuk nilai perpindahan kalor gabungan (Q_{mix}) maksimal masing-masing untuk kondisi operasi sebelum dan sesudah menerapkan pemulihan limbah panas sebesar 53,6141 dan 52,3985 W berada pada kelembaban (RH) sebesar 30%, sebaliknya nilai perpindahan kalor gabungan (Q_{mix}) minimal untuk kedua kondisi operasi masing-masing sebesar 52,1938 dan 50,9720 berada pada kelembaban (RH) sebesar 70%.



Gambar 5. Perilaku kurva perpindahan kalor gabungan terhadap kelembaban pada kondisi operasi sebelum dan sesudah menerapkan pemulihan limbah panas

Semakin meningkat kelembaban (RH) maka perpindahan kalor gabungan (Q_{mix}) semakin menurun, disebabkan oleh semakin meningkatnya fluks kalor (q''_{mix}), dimana fluks kalor (q''_{mix}) berbanding lurus dengan perpindahan kalor gabungan (Q_{mix}).

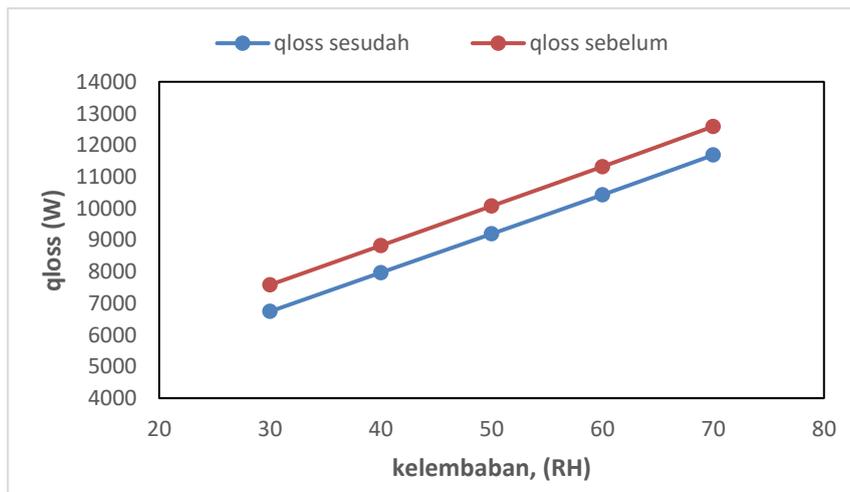
Terlihat bahwa meningkatnya kelembaban mempengaruhi perpindahan kalor evaporasi (Q_{eva}) untuk kedua kondisi operasi. Untuk nilai perpindahan kalor evaporasi (Q_{eva}) maksimal masing-masing untuk kondisi operasi sebelum dan sesudah menerapkan pemulihan limbah panas sebesar 10952,964 dan 6645,972 berada pada kelembaban (RH) sebesar 70%, sebaliknya nilai perpindahan kalor evaporasi (Q_{eva}) minimal untuk kedua kondisi operasi masing-masing sebesar 3946,079 dan 152,846 W berada pada kelembaban (RH) sebesar 30%.



Gambar 6. Perilaku kurva perpindahan kalor evaporasi terhadap kelembaban pada kondisi operasi sebelum dan sesudah menerapkan pemulihan limbah panas

Semakin meningkat kelembaban (RH) maka perpindahan kalor evaporasi (Q_{eva}) semakin meningkat pula, disebabkan oleh semakin meningkatnya perpindahan kalor heater (Q_h), perpindahan kalor udara (Q_{ud}) dan perpindahan kalor gabungan (Q_{mix}).

Terlihat bahwa meningkatnya masukan panas mempengaruhi kehilangan kalor (Q_{loss}) untuk kedua kondisi operasi. Untuk nilai kehilangan kalor (Q_{loss}) maksimal masing-masing untuk kondisi operasi sebelum dan sesudah menerapkan pemulihan limbah panas sebesar 15543,25 dan 11618,43 berada pada kelembaban (RH) sebesar 70%, sebaliknya nilai perpindahan kalor udara minimal untuk kedua kondisi operasi masing-masing sebesar 101006,68 dan 6683,13 berada pada kelembaban (RH) sebesar 30%.



Gambar 7. Perilaku kurva kehilangan kalor terhadap kelembaban pada kondisi operasi sebelum dan sesudah menerapkan pemulihan limbah panas

Semakin meningkat kelembaban (RH) maka kehilangan kalor (Q_{loss}) semakin meningkat pula, disebabkan oleh semakin meningkat perpindahan kalor udara (Q_{ud}), perpindahan kalor gabungan (Q_{mix}) dan perpindahan kalor evaporasi (Q_{eva}) semakin meningkat, dimana ketiga perpindahan kalor tersebut berbanding lurus dengan kehilangan kalor (Q_{loss}).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dengan memvariasikan kelembaban (RH) dengan dan tanpa sistem pemulihan panas yaitu :

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas semakin meningkat seiring dengan meningkatkannya kelembaban, dimana efektivitas maksimum pada kelembaban 70% untuk

kondisi operasi sebelum dan sesudah menerapkan pemulihan limbah panas masing-masing sebesar 70,47% dan 57,21%.

2. penggunaan daya listrik sesudah menerapkan sistem pemulihan limbah panas yang maksimal berada pada kelembaban (RH) 30% sebesar 3150 W atau 15,41%.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsenyeva, O., Kleme, J. J., Kapustenko, P., Fedorenko, O., Kusakov, S., & Kobylnik, D. (2021). Plate heat exchanger design for the utilisation of waste heat from. *Energy*(No 233), 1-10.
- Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (Vol. 21, Issue 1).
- Chakraverty, A. (2003). *Handbook of postharvest technology : cereals, fruits, vegetables, tea, and spices*. Marcel Dekker.
- Defraeye, T., Blocken, B., & Carmeliet, J. (2012). International Journal of Heat and Mass Transfer. *Analysis of convective heat and mass transfer coefficients for convective drying*(No 55), 112–124.
- Djaeni, M., & Sari, D. A. (2015). Low Temperature Seaweed Drying Using Dehumidified Air. *Procedia Environmental Sciences*(No23), 2 – 10.
- Fithriani, D., Assadad2, L., & Siregar, Z. A. (2016). Karakteristik Dan Model Matematika Kurva Pengeringan. *JPB Kelautan dan Perikanan, Vol 11*(No 2), 159-170.
- Hakim, A. R., Handoyo, W. T., & Prasetyo, A. W. (2020). Performa Dan Analisis Konsumsi Energi Pengeringan. *JPB Kelautan dan Perikanan, vol 15*(No 1), 85-97.
- Kothandaraman, C. P. (2006). Fundamentals of Heat and Mass Transfer. In *New Age International (P) Limited, Publishers* (Vol. 13, Issue 1).
- Mulyadi, M., Marhatang, & Nur, R. (2018). The Forced Convection Biomass and Solar Collector Dryer. *AIP Conference Proceedings*, 1-6.
- Ogulata, R. (2004). Utilization of waste-heat recovery in. *Applied Energy*(No 79), 41–49.
- Orilda, R., Ibrahim, B., & Uju. (2021). Pengeringan Rumput Laut *Eucheuma cottonii* Menggunakan Oven Dengan Suhu Yang Berbeda. *Perikanan Terpadu, Vol 2*(No 2), 11-23.
- Pradana, G. B., Prabowo, K. B., Hastuti, R. P., Djaeni, M., & Prasetyaningrum, A. (2019). Seaweed Drying Process Using Tray Dryer with. *Earth and Environmental Science*(No 292), 1-7.
- Sahamifar, S., Kowsaryy, F., & Mazlaghani, M. H. (2019). Optimasi umum bank tabung staggered cross-flow menggunakan. *Komunikasi Internasional dalam Perpindahan Panas dan Massa*(No 105), 46–57.
- Suherman, S., Djaeni, M., Kumoro, A. C., Prabowo, R. A., Rahayu, S., & Khasanah, S. (2018). Comparison Drying Behavior of Seaweed in Solar, Sun and Oven Tray Dryers. *MATEC Web of Conferences*(No 156), 1-4.
- Zamroni, A., & Yamao, M. (2011). Coastal Resource Management: Fishermen's. *World Academy of Science, Engineering and Technology*(No 60), 32-38