

Distribusi Suhu dan Kecepatan Aliran Udara dari Sistem *Heat Pump* Kompresi Uap untuk Ruang Pengering Tipe Drum Horizontal dengan Bantuan *Computational Fluid Dynamics*

Damawidjaya Biksono^{1,*}, Deny Bayu Saefudin¹, War'an Rosihan¹, Rachman Hakim¹, M. Faisal Wicaksono¹, Lukman Nulhakim², Arif Nurohman¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fak.Teknologi Manufaktur Universitas Jenderal A.Yani Cimahi

²Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Jayabaya Jakarta.

*) *Corresponding author:* damawidjaya.b@lecture.unjani.ac.id

Abstract

A drum dryer is used to dry various grain or agricultural products. One of its uses is to dry grain. The selection of a horizontal-type cylinder design used in the drying will affect the distribution of air entering the drying chamber. This study aims to determine the distribution of air velocity and temperature distribution in a horizontal cylinder-type drying chamber. So that it will get optimal simulation results that the drying process is evenly distributed. The method used in this study is a virtual experiment using Computational Fluid Dynamics (CFD) software so that the simulation results can provide an overview of the distribution of airflow velocity in a drum dryer to facilitate the determination of the design of the drying chamber. Moreover, variations in air flow velocity used "4,5" m/s, "6,75" m/s, and "9" m/s and temperature "38,14" °C, "39,60" °C, "40,17" °C and "41,55" °C. The most optimal CFD simulation results were obtained from these variations, namely at variations in air flow velocity of 9 m/s and temperature of 41,55 °C with heat transfer values obtained in the chamber and drying wall, respectively of 3,931 W and 31,354 W.

Abstrak

Model *drum dryer* digunakan untuk mengeringkan berbagai biji-bijian atau produk pertanian. Salah satu kegunaannya adalah untuk mengeringkan gabah. Pemilihan desain silinder tipe horizontal yang digunakan dalam pengeringan ini akan mempengaruhi distribusi udara yang memasuki ruang pengering. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi kecepatan udara dan distribusi suhu dalam ruang pengering tipe silinder horizontal. Sehingga hasil simulasi akan mengetahui yang optimal bahwa proses pengeringan tersebut merata. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah percobaan virtual dengan menggunakan *software Computational Fluid Dynamics* (CFD) sehingga hasil simulasi dapat memberikan gambaran distribusi kecepatan aliran udara pada *drum dryer* untuk memudahkan penentuannya desain ruang pengering. Sedangkan variasi kecepatan aliran udara menggunakan "4,5" m/s, "6,75" m/s, dan "9" m/s dan suhu "38,14" °C, "39,60" °C, "40,17" °C dan "41,55" °C. Dari variasi tersebut hasil simulasi CFD yang paling optimal didapat pada variasi kecepatan aliran udara sebesar 9 m/s dan temperatur 41,55 °C dengan nilai perpindahan kalor yang diperoleh di dalam chamber dan pengeringan dinding, masing-masing sebesar 3.931 W dan 31.354 W.

Keywords: *Drying, Drum Dryer, Virtual Experiment, CFD Simulation, Heat transfer*

PENDAHULUAN

Proses pengeringan adalah mengurangi kadar air dari bahan dengan menggunakan energi panas sampai pada batas tertentu sehingga aman untuk disimpan, untuk biji-bijian secara umum setelah dipanen diantara gabah mempunyai kadar air cukup tinggi sekitar 20-23 % basis basah ketika musim kemarau dan ketika musim hujan sekitar 24-27 % basis basah [1]. Sedangkan kadar air yang terkandung pada gabah dan beras telah diatur oleh pemerintah melalui SNI No. 01-0224-1987 dan SNI 6128:2008 yaitu sebesar 14 %. Selain itu juga Karbassi [2] menyatakan hal yang sama, bahwa gabah panen harus segera dikeringkan hingga mencapai kadar air sebesar 13-14 %.

Sebagaimana hasil penelitian Biksono, *et al* [3] memperlihatkan bahwa pemodelan parameter-parameter kinerja system *heat pump* kompresi uap yang mencakup Q_e , Q_c dan P cukup baik dimodelkan terhadap suhu evaporator dan kondensor. Kondisi (suhu dan kelembaban) udara lingkungan serta laju alirannya tentu akan mempengaruhi perubahan suhu evaporator dan kondensor yang selanjutnya akan mempengaruhi Q_e , Q_c dan P . Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya daya dan efisiensi yang didapat dari sistem *heat pump* kompresi uap (HPKU) pada mesin pengering serta pengaruh laju aliran, perpindahan panas dan proses pengkondisian udara yang terjadi pada mesin pengering.

Dalam penelitiannya mengenai “*Kinerja Pengeringan Gabah dengan Sistem Heat Pump Kompresi Uap*” Biksono *et al* [4] menyimpulkan seluruh kondisi pengeringan yang dihasilkan oleh semua konfigurasi *heat pump* kompresi uap (HPKU) dan pemanas resistif yang dihasilkan hampir sama yaitu 35,7 – 37,9 °C dan rasio kelembaban (RH) yang dihasilkan sebesar 35,4 – 45,9 % sehingga waktu pengeringan yang dibutuhkan antara 11-12 jam. Karwito [5] pada penelitiannya menggambarkan pola aliran udara dengan mengubah posisi blower yang ada (metode *trial and error*) hasil penelitiannya menunjukkan adanya perbedaan distribusi aliran udara di atas plat dan dalam ruang pengering.

Analisis distribusi suhu dan kecepatan aliran udara dalam ruang pengering berenergi surya menggunakan CFD model ruang pengering kubus. Wulandani [6] dalam penelitiannya mensimulasi dengan menggunakan CFD untuk mengubah posisi *inlet* dan *outlet* posisi kipas. Posisi pertama *inlet* pada bagian bawah sepanjang 50 cm dari tanah dan *outlet* bagian atas sepanjang 50 cm dari atap menunjukkan didistribusi besarnya kecepatan semakin besar, skenario kedua peletakan *inlet* dibagian tengah dan *outlet* dibagian bawah hingga mendapatkan hasil simulasi dapat menunjukkan model dan menggambarkan kondisi nyata sebesar 89 %.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Fansuri [7] mengenai *Pendekatan CFD untuk Optimasi Keseragaman Aliran Udara pada Pengering Gabah Tipe Bak*. Jenis bak yang digunakan sebagai variasi dari simulasi diantaranya yaitu penampang persegi panjang, lingkaran dan segiempat. Dari ketiga bentuk penampang bak, tipe bak dengan penampang lingkaran mempunyai sebaran aliran udara yang lebih merata. Koefisien korelasi *pressure drop* antara simulasi CFD dengan pengukuran ialah sebesar 0,9957. Koefisien korelasi kecepatan udara antara pengujian dan simulasi ialah sebesar 0,87, sedangkan nilai *error* ialah 14,9 %. Uji kinerja pengeringan gabah sebanyak 128,5 kg dengan *bulk density* 555 kg/m³, dimana kadar air awal 28,3 % basis basah (bb). dilakukan selama 12 jam untuk mencapai kadar air keseimbangan rata-rata sebesar 14 % bb. Dalam penelitian ini untuk membuat ruang pengering tipe silinder horizontal dilakukan dengan menggunakan CFD untuk memprediksi apa yang terjadi dalam suatu alat atau sistem dengan menggunakan satu atau lebih kondisi batas (*boundary condition*)

Hasil *output* yang digunakan untuk proses simulasi yaitu suhu terbaik yang dihasilkan oleh kondensor pada mesin *heat pump* kompresi uap. Penggunaan suhu tersebut dijadikan sebagai *input* pada simulasi penelitian ini. Dengan melakukan simulasi sebaran suhu dan kecepatan udara menggunakan bantuan perangkat lunak *Computational Fluid Dynamics* (CFD) diharapkan memudahkan dalam merancang bentuk ruang pengering tipe silinder yang digunakan untuk proses pengeringan gabah.

Suhu udara lingkungan setelah melewati evaporator dan kondensor pada sistem HPKU. Kemudian dialirkan dengan bantuan blower ke dalam ruang pengering. Desain ruang pengering yang digunakan adalah tipe horizontal akan mempengaruhi sebaran udara yang terjadi pada pengeringan. Sehingga diperlukannya desain ruang pengering yang optimal agar sebaran udaranya merata. Penggunaan *software Computational Fluid Dynamics* (CFD) diharapkan dapat memberikan gambaran sebaran arah vektor kecepatan udara dan suhu pada ruang pengering.

Suhu ubah yang kontak antara udara dan bahan yang dikeringkan menjadi rendah merupakan masalah yang terjadi pada pengeringan *batch*, dimana salah satu penyebabnya adalah didistribusi aliran udara panas yang tidak merata akibat terjadinya ketidakseragaman kadar air produk pada ruang pengering sehingga membuat kualitas bahan atau produk secara keseluruhan menjadi menurun. Selain ketidakseragaman distribusi aliran udara dan suhu tersebut mengakibatkan kemungkinan hilangnya udara panas dari ruang pengering sebelum melewati produk dan kebutuhan energi menjadi besar atau boros.

Pemecahan permasalahan dengan menggunakan analisis dimensi dan finite volume dengan bantuan CDF (*Computational Fluid Dynamics*) mempunyai keunggulan bila dibandingkan dengan metode numerik lainnya, yakni menggunakan kontrol volume sebagai elemen dari integrasi persamaan-persamaan agar menghasilkan satu set persamaan diskret. Dengan demikian penyelesaian persamaan untuk dua dimensi atau tiga dimensi menjadi lebih cepat dan dapat dilakukan secara simultan. Lokasi aliran *inlet* blower suplay panas dari *out system* HPKU dan dimensi ruang pengering yang dapat diubah dalam program simulasi untuk melihat distribusi aliran udara panas yang optimal sehingga biaya konstruksi alat ruang pengering menjadi hemat.

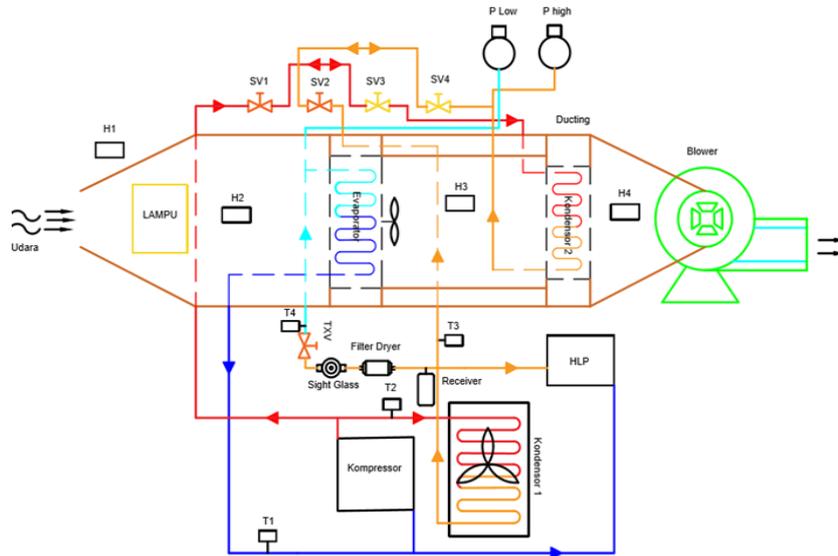
Penelitian ini secara umum bertujuan ingin mengetahui desain ruang pengering yang optimal agar sebaran udara dan suhu merata ke seluruh permukaan dinding ruang pengering dengan bantuan *computational fluid dynamics*. Sebaran suhu udara dengan vektor dan kontur kecepatan yang dihasilkan harus merata agar ketika diaplikasikan pada proses pengeringan gabah hasilnya sama secara keseluruhan. Hasil tersebut akan dipengaruhi oleh model desain dari ruang pengering yang digunakan.

METODE PENELITIAN

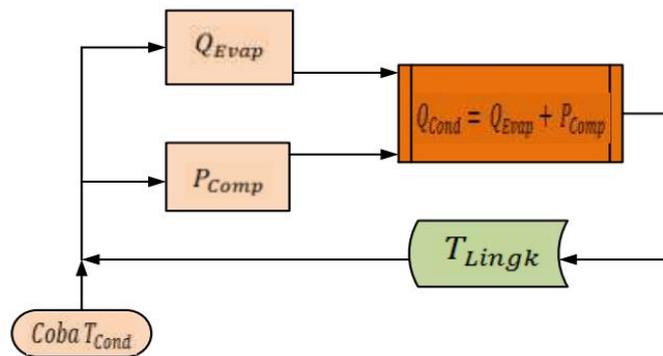
Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi. Pengambilan dan pengukuran distribusi suhu dan kecepatan aliran udara lingkungan masuk ke sistem HPKU dengan proses isap blower untuk didistribusi ke ruang pengering.

Sistem HPKU terdiri dari kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator dapat dilihat pada Gambar 1. Kompresor merupakan jantung dari sistem HPKU. Kompresor berfungsi untuk menekan uap refrigeran menjadi tekanan tinggi, sekaligus membangkitkan aliran refrigeran pada siklus HPKU. Banyak jenis kompresor yang terdapat di pasaran dan salah satu diantaranya adalah kompresor untuk refrigeran yang bertekanan rendah. Kondensor berfungsi untuk mengubah fase uap menjadi cair. Selanjutnya cairan refrigeran akan melalui

katup ekspansi sehingga tekanannya menurun dan fasenya berubah menjadi campuran cairan-uap. Selanjutnya campuran ini diuapkan seluruhnya pada evaporator. Selain komponennya, refrigeran yang digunakan merupakan faktor utama dalam menentukan kinerja sistem HPKU. Sifat refrigeran yang dibutuhkan diantaranya mencakup tidak mudah terbakar, tidak beracun, ramah terhadap lingkungan. Gambaran dari siklus sistem HPKU dapat dilihat pada Gambar 1 dan gambar 2.



Gambar 1. Skema Alat Uji sistem HPKU untuk Pengering [5]



Gambar 2. Diagram alir informasi sistem HPKU untuk suhu pengembunan $t_e = 14^{\circ}\text{C}$ dan penguapan $t_c = 40^{\circ}\text{C}$ serta $t_{\text{ling}} = 32^{\circ}\text{C}$ [4]

Kadar air bahan

Peranan air dalam bahan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi aktivitas metabolisme seperti misalnya aktivitas enzim, aktivitas mikroba, dan aktivitas kimiawi yaitu terjadinya ketengikan dan reaksi-reaksi *nonenzimatis*, sehingga menimbulkan perubahan sifat-sifat *organoleptik*, penampilan, tekstur serta nilai gizinya. Cara mencegah pertumbuhan mikroba dapat dilakukan dengan cara mengganggu lingkungan hidupnya, dengan cara mengubah suhu, kadar air substrat (aw), pH kadar oksigen, komposisi substrat, serta penggunaan bahan pengawet anti mikroba.

Kadar air suatu bahan biasanya dinyatakan dalam persentase bobot terhadap bahan basah, misalnya dalam gram air untuk setiap 100 gram bahan, dan disebut kadar air berat basah atau basis basah (bb). Kadar air basis basah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.

$$k. a (\%bb) = \frac{\text{massa air dalam produk}}{\text{massa total produk}}$$

$$M = \frac{m_w}{m_t} \times 100\% \tag{1}$$

$$M = \frac{m_w}{m_w + m_s} \times 100\%$$

Disamping kadar air bobot basah, kadar air bahan juga dapat dinyatakan dalam kadar air basis kering (bk) yaitu air yang diuapkan dibagi bobot bahan setelah pengeringan. Jumlah air yang diuapkan dibagi bobot bahan setelah pengeringan. Jumlah air yang diuapkan adalah bobot bahan sebelum pengeringan dikurangi bobot bahan setelah pengeringan, sebagaimana dapat dilihat pada persamaan 2,

$$k. a (\%bk) = \frac{\text{massa air dalam produk}}{\text{massa padatan produk}}$$

$$X = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \tag{2}$$

yang dimaksud dengan bobot bahan kering yaitu bobot bahan setelah mengalami pemanasan dalam waktu tertentu sampai tercapai bobot konstan. Pada keadaan bobot konstan tersebut tidak seluruh air yang terkandung dalam bahan teruapkan, akan tetapi hasil yang didapat disebut bobot kering [8].

Pemodelan Simulasi.

Simulasi berfungsi untuk melihat sebaran aliran udara berdasarkan suhu di dalam ruang pengering. Model ini menggunakan persamaan keseimbangan massa, momentum (Navier-Stokes) dan energi, udara menggambarkan dalam persamaan diferensial sebagai fluida Newtonian. Dalam dinamika fluida yang dapat diselesaikan menggunakan CFD diantaranya yaitu mensimulasikan aliran fluida, perpindahan panas, perpindahan massa, benda-benda bergerak, aliran multifasa, reaksi kimia, interaksi fluida dengan struktur dan sistem akustik hanya dengan pemodelan di komputer [9]. Contoh perpindahan panas yang dapat disimulasikan dengan menggunakan CFD yaitu perpindahan panas pada suatu komponen ponsel yang menyebar ke seluruh komponen lainnya, panas pada mesin sepeda motor yang menyala kemudian panasnya diserap oleh *heatsink*. Selain itu juga ada gaya angkat sayap pesawat dan aliran suatu fluida yang melewati celah gedung merupakan beberapa contoh mengenai penggunaan CFD dalam penerapan ilmu aliran fluida.

CFD merupakan sebuah seni untuk mengganti persamaan-persamaan integral yang menjelaskan permasalahan fluida dengan bentuk aljabar yang dipecahkan secara numerik untuk memperoleh angka suatu aliran pada titik yang berbeda. Dalam dinamika fluida terdapat tiga persamaan utama yang harus ditentukan dalam analisa yaitu persamaan kekekalan massa (Hukum Kontinuitas) yang menjelaskan bahwa massa dalam sistem tertutup akan selalu konstan atau dapat ditulis dengan persamaan 3.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \tag{3}$$

Persamaan 3. dapat digunakan untuk menganalisa pada aliran tunak dan tak tunak, aliran viskos dan non-viskos serta pada aliran yang bersifat kompresibel maupun tidak kompresibel. S_m merupakan massa yang dimasukkan ke fasa aliran dari fluida yang telah terurai pada fasa keduanya, contohnya penguapan yang terjadi pada tetesan cairan.

Persamaan kekekalan momentum (Hukum Kedua Newton) yang menjelaskan bahwa perubahan momentum dalam suatu sistem adalah sama dengan jumlah gaya pada sistem tersebut. Fenomenanya dapat dihitung menggunakan persamaan 4.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (4).$$

Dari persamaan 4. p , τ , ρg serta F secara berurutan merupakan tekanan tetap, tegangan viskos, dan gaya gravitasi yang terjadi pada fluida serta gaya eksternal seperti contoh gaya gravitasi yang terjadi pada fluida dan gaya yang terjadi dari interaksi fasa yang terdispersi. Persamaan ruas kiri merupakan hasil penjumlahan laju perubahan momentum dan konveksi lokal, sedangkan pada ruas kanan mewakili gaya-gaya yang terjadi pada permukaan (tekanan dan viskos) dan *body force* (gravitasi dan eksternal).

Persamaan kekekalan energi yang menjelaskan bahwa total energi yang terdapat dalam suatu sistem tertutup (terisolasi) adalah konstan atau dengan kata lain energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan tetapi hanya bisa dirubah bentuknya saja. Fenomena tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan 3.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla \cdot ((k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{j}_j + (\bar{\tau}_{eff} \cdot \vec{v}))) + S_h \quad (5).$$

Dari persamaan 5. E merupakan energi persatuan massa sehingga ρE merupakan energi persatuan waktu, dan p merupakan tekanan kerja. Persamaan urutan pertama pada ruas kanan merupakan persamaan perpindahan panas konduksi, persamaan urutan kedua pada ruas kanan merupakan persamaan difusi energi dan persamaan urutan ketiga pada ruas kanan merupakan disipasi viskositas dimana τ_{eff} merupakan tegangan viskos, sedangkan S_h merupakan energi (termasuk entalpi) yang dimasukkan pada fasa selanjutnya, contoh ketika terjadi reaksi kimia atau radiasi.

Metode Diskritisasi CFD.

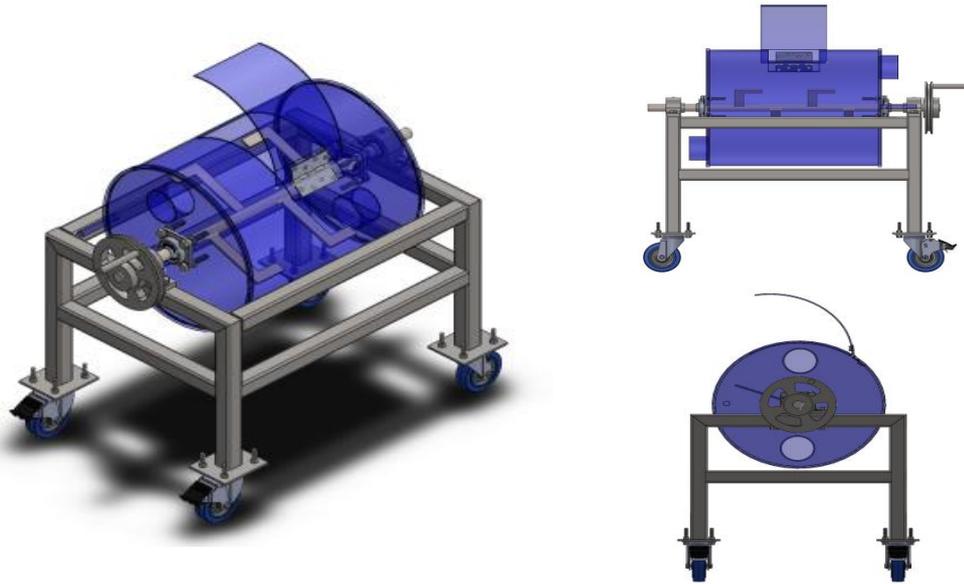
CFD sebenarnya mengganti persamaan-persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan-persamaan aljabar. CFD merupakan pendekatan dari persoalan yang asalnya kontinum (memiliki jumlah sel tak terhingga) menjadi model yang diskrit (jumlah sel terhingga) [10]. Perhitungan atau komputasi aljabar untuk memecahkan persamaan-persamaan diferensial parsial ini ada beberapa metode (metode diskritisasi), diantaranya yaitu sebagai berikut :

1. Metode beda hingga (*finite difference methode*).
2. Metode elemen hingga (*finite elements methode*).
3. Metode volume hingga (*finite volume methode*).
4. Metode elemen batas (*boundary element methode*).
5. Metode skema resolusi tinggi (*high resolution scheme methode*).

Metode diskritisasi yang dipilih umumnya menentukan kestabilan dari program numerik/CFD yang dibuat atau program *software* yang ada. Oleh karenanya diperlukan kehati-hatian dalam cara mendiskritisasi model khususnya cara mengatasi bagian yang kosong atau diskontinyu. *Fluent* sendiri menggunakan metode volume hingga dan metode ini digunakan dalam bentuk integral dari persamaan umum untuk dilakukan diskretisasi persamaan. Dan solusinya di bagi ke dalam jumlah control volume yang berhingga dan persamaan umum tersebut yang telah didiskretisasi diaplikasikan pada tiap control volume dan titik pusat control volume merupakan nodal komputasi pada variable yang digunakan.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ruang pengering model silinder horizontal dengan sebaran udara yang terjadi didalamnya, serta bentuk dan model yang digunakan dalam simulasi seperti pada Gambar 3.

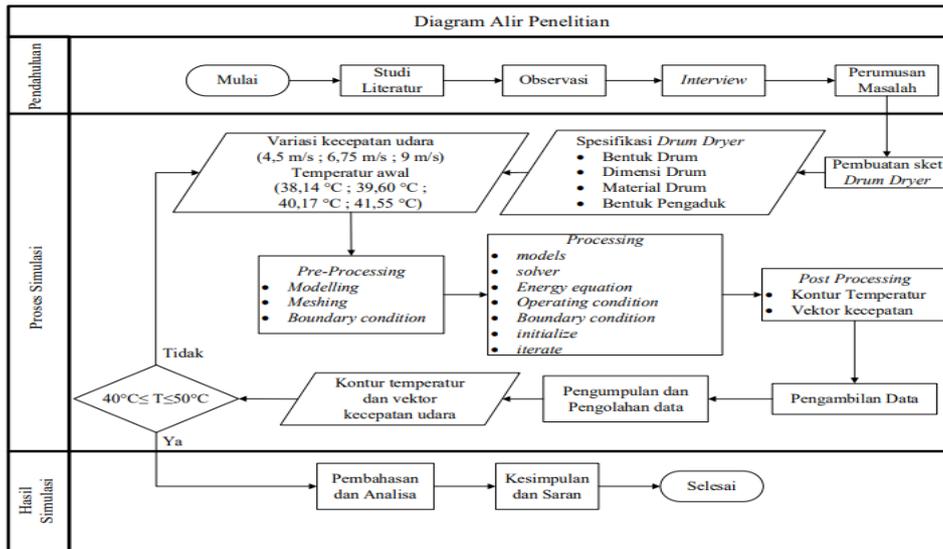


Gambar 3. Sketsa alat ruang pengering tipe silinder horizontal

Gambar 3 merupakan gambaran ketika akan dilakukan pabrikan setelah dilakukan simulasi, adapun langkah-langkah yang akan dilakukan proses perakitan adalah membuat frame, pengaduk, lubang *inlet* dan *oulet*, *spindle* dan bantalan agar memudahkan saat pengaduk dioperasikan. Bantuan alat simulasi dengan CFD dan alat ukur yang digunakan pada saat pengujian yaitu timbangan, *moister tester*, *thermocouple* tipe K, *hygrometer*, *anemometer* dan *arduino*.

Diagram Alir Penelitian

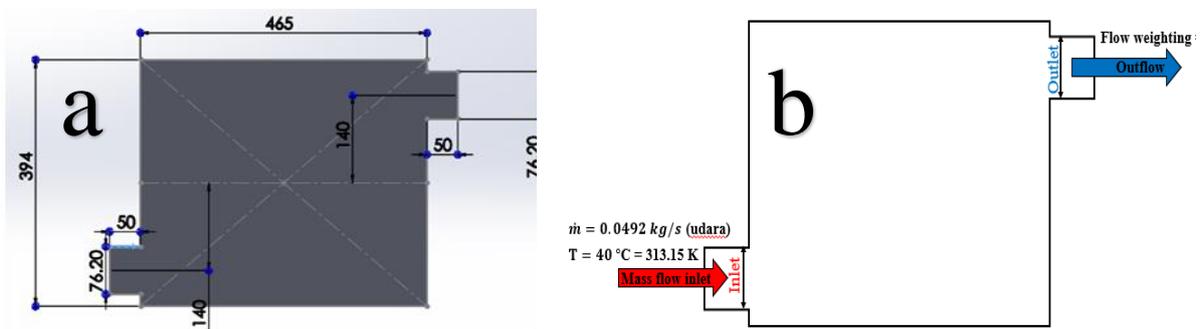
Diagram alir adalah merupakan diagram yang mewakili sebuah proses, sistem atau algoritma komputer yang digunakan untuk mendokumentasikan, merencanakan, dan menyempurnakan atau menggambarkan sebuah alur kerja yang akan dilakukan dalam penelitian ini seperti pada Gambar 4 di bawah ini dari proses simulasi membuat model, *meshing*, *boundary condition*, *processing*, dan *post processing*.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Set-up sebelum melakukan simulasi membuat gambar sketsa dan penentuan dimensi *drum dryer*, menentukan variasi kecepatan aliran udara masuk. Berdasarkan dimensi *drum dryer* membuat *model*, membuat *meshing* dan mengatur kondisi batas (*boundary condition*) selanjutnya dilakukan langkah untuk memulai simulasi dengan bantuan *software* CFD yang disebut dengan *pre-processing*. Kemudian melakukan *processing* setelah melakukan langkah *pre-processing* dalam tahapan ini dilakukan beberapa pengaturan atau *set-up* simulasi akan melakukan proses *iterasi* untuk mendapatkan hasil simulasi.

Pemodelan awal simulasi yang akan dilakukan dalam pengujian seperti pada gambar 5a. dimensi silinder pengering dengan diameter 394 mm dan panjang 465 mm serta dibuat lubang diameter *input* dan *ouputt* sebesar 76,2 mm untuk alirann udara masuk dan keluar drum pengering serta bahan material yang digunakan adalah plat besi yang memiliki ketahanan yang sangat baik dengan tebal plat 5 mm dan volume silinder 0,057 m³. Sedangkan laju aliran udara dan suhu masuk ke ruang pengering sebesar 40 °C suplay panas dari sistem HPKU seperti terlihat dalam gambar 5b. Proses simulasi di lakukan, ada beberapa hal yang divariasikan. Variasi tersebut yaitu kecepatan awal udara sebesar “4,5” m/s, “6,75” m/s, “9” m/s dan suhu awal udara sebesar “38,14” °C, “39,60” °C, “40,17” °C, dan “41,55” °C. Dari variasi tersebut akan didapatkan gambaran sebaran udara dalam ruang pengering tipe silinder. Sehingga akan mendapatkan desain ruang pengering yang optimal untuk proses pengeringan gabah yang merata.

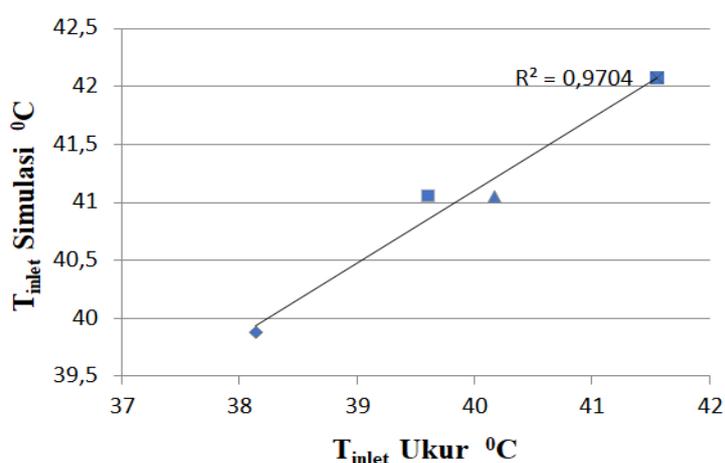


Gambar 5. a. Skema model silinder *dryer*, b. Skema simulasi $T_{in} 40^{\circ}\text{C}$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi Model Simulasi

Hasil simulasi dari model ruang pengering tipe silinder horizontal, model aliran udara dan pindah panas adalah berupa kontur yang menunjukkan besar dan arah aliran udara dan suhu dalam ruang pengering. Suhu *inlet* ke ruang pengering adalah panas keluaran dari kondensator sistem HPKU dengan variabel kecepatan blower “4,5” m/s, “6,75” m/s dan “9” m/s didapat dari pengukuran suhu masuk “38,88” °C, “41,06” °C, “41,05” °C, dan “42,08” °C hasil dari simulasi ke ruang pengering tipe silinder di dapat “38,14” °C, “39,60” °C, “41,17” °C dan “41,55” °C, Nampak hasil pengukuran lebih tinggi dibandingkan hasil simulasi. Perbedaan ini diduga disebabkan oleh ketelitian alat ukur suhu dengan menggunakan *thermocouple* dengan ketelitian alat yang digunakan hanya sampai 0,2 °C. Dan hasil simulasi suhu udara masuk pada penelitian dapat digambarkan data ukuran dengan nilai R^2 sebesar 97,04 % dari (Gambar 6).



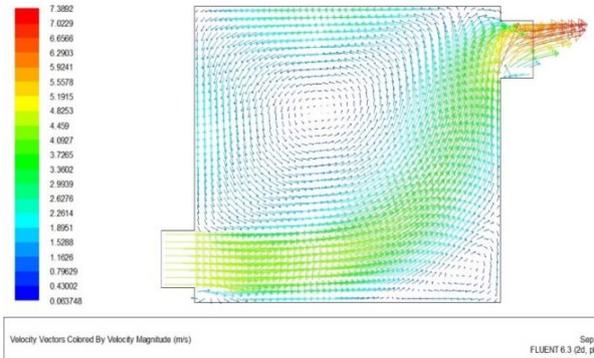
Gambar 6. Validasi panas inlet ruang pengering

Hasil Simulasi dengan Variable Suhu Masuk Ruang Pengering

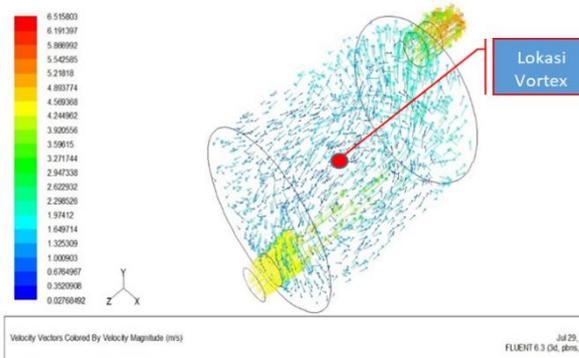
Pada simulasi kecepatan aliran udara 4,5 m/s dengan variasi suhu masuk ruang pengering dari suhu “38,14” °C, “39,60” °C, “40,17” °C dan “41,55” °C dan hasil simulasi nya ditampilkan dalam bentuk vektor kecepatan udara masuk dari sisi *inlet* mengalir kedalam ruang drum pengering dengan arahnya berbeda-beda. Pada gambar 7a. dan 7b. menunjukkan hasil vector kecepatan dari hasil simulasi dengan variasi kecepatan 4,5 m/s dan suhu 38,14 °C, arah gerakan vector udara ada yang langsung mengarah keluar sisi *outlet* dan ada juga yang mengalami *vortex* dibagian tengah drum pengering seperti ditunjukkan dalam gambar 7b. udara mengalami *vortex* dikarenakan terjadinya tumbukan udara terhadap dinding model. Sehingga mempengaruhi terhadap kecepatan aliran udara yang dihasilkan. Nilai kecepatan aliran udara dari mulai sisi *inlet* sebesar 4,5 m/s hingga mengalir menuju sisi *outlet* kecepatannya meningkat sampai 7,39 m/s. Sedangkan udara yang mengalami *vortex* kecepatannya menurun dari 2,26 m/s hingga 0,06 m/s.

Hasil simulasi dengan kontur suhu menunjukkan bahwa nilai suhu yang ada pada model bagian *inlet* sampai *outlet* bernilai 310,74 K hingga 311,29 K atau setara dengan suhu 37,59 °C hingga 38,14 °C. Akan tetapi pada sisi *outlet* tepatnya pada ujung bawah terjadi penurunan suhu menjadi 309,63 K hingga 300,24 K atau setara dengan suhu 36,58 °C hingga 27,19 °C.

Hasil simulasi ini bisa dikatakan mempunyai nilai sebaran suhu yang merata. Hal ini ditandai dengan kontur yang berwarna merah dari hasil simulasi yang ditampilkan dalam gambar 7a. Hanya saja terjadi pengurangan nilai suhu pada ujung bawah sisi *outlet* yang ditandai dengan berubahnya warna kontur tersebut.



Gambar 7a. Vektor $v:4,5 \text{ m/s}$ & $T:38,14 \text{ }^\circ\text{C}$



Gambar 7b. Lokasi vortex $v:4,5 \text{ m/s}$ & $T:38,14 \text{ }^\circ\text{C}$

Analisis Hasil Simulasi Variabel dengan Kecepatan Udara Masuk

Hasil simulasi dari vektor dan kontur dari masing-masing variasi dapat ditabelkan yang selanjutnya akan digunakan untuk menghitung perpindahan panas yang terjadi dalam ruang pengering tipe silinder horizontal untuk mengetahui hasil yang terbaik. Hasil yang terbaik akan digunakan untuk melakukan proses pengeringan gabah, selain itu juga sebagai pembandingan terhadap desain ruang pengering yang akan digunakan. Adapun skema pengambilan datanya terdiri dari dua jenis yaitu data untuk menghitung laju perpindahan panas yang terjadi di dalam ruang pengering dan data untuk menghitung laju perpindahan panas yang melewati dinding ruang pengering beserta insulasinya. Data yang akan digunakan dalam perhitungan ini dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 1. Data hasil simulasi vector dengan kecepatan udara 4,5 m/s

T_{in} ($^\circ\text{C}$)	T_{out} ($^\circ\text{C}$)	v (m/s)	D_{drum} (m)	A (m^2)	\dot{m} (kg/s)
38,14	35,72	4,50	0,39	0,12	0,62
39,60	36,86	4,50	0,39	0,12	0,62
40,17	37,31	4,50	0,39	0,12	0,62
41,55	38,39	4,50	0,39	0,12	0,62

Tabel 2. Data hasil simulasi vector dengan kecepatan udara 6,75 m/s

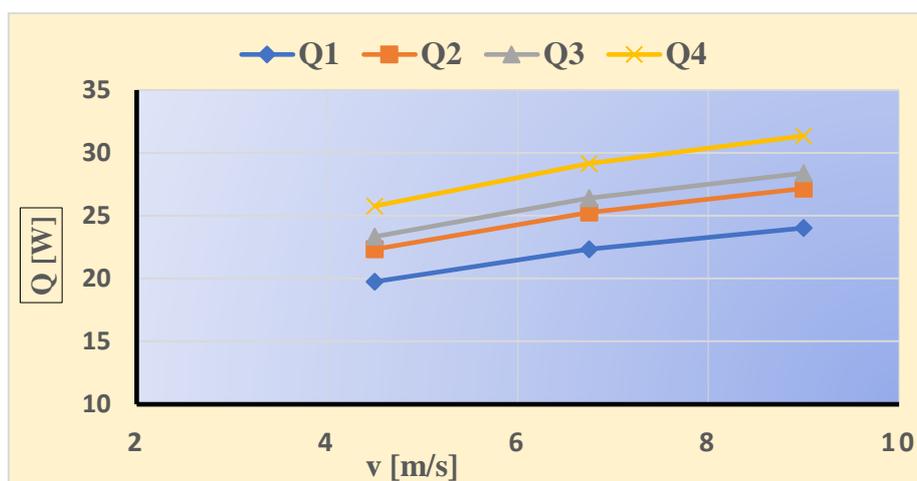
No.	T_{in} ($^\circ\text{C}$)	T_{out} ($^\circ\text{C}$)	v (m/s)	D_{drum} (m)	A (m^2)	\dot{m} (kg/s)
1	38,14	35,72	6,75	0,39	0,12	0,62
2	39,60	36,86	6,75	0,39	0,12	0,62
3	40,17	37,31	6,75	0,39	0,12	0,62
4	41,55	38,39	6,75	0,39	0,12	0,62

Tabel 3. Data hasil simulasi vector dengan kecepatan udara 9 m/s

No.	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	v (m/s)	D _{drum} (m)	A (m ²)	\dot{m} (kg/s)
1	38,14	35,72	9,00	0,39	0,12	0,62
2	39,60	36,86	9,00	0,39	0,12	0,62
3	40,17	37,31	9,00	0,39	0,12	0,62
4	41,55	38,39	9,00	0,39	0,12	0,62

Analisis Hasil Perpindahan Panas pada Ruang Pengering

Dari data hasil simulasi vektor dan kontur dengan CFD data yang digunakan berupa suhu masuk dan keluar ruang pengering dengan model 2D. Dari masing-masing suhu ketika menggunakan kecepatan yang sama, mengalami kenaikan nilai perpindahan panas. Dalam grafik tersebut nilai perpindahan panas maksimum dicapai ketika nilai variasi suhu sebesar 41,55 °C dan kecepatan 9 m/s dengan nilai perpindahan panas sebesar 3931 W. Sedangkan nilai minimum dicapai ketika nilai suhu 38,14 °C dan kecepatan 4,5 m/s dengan nilai perpindahan panas sebesar 1521 W. Dari kedua hasil tersebut menandakan semakin besar nilai suhu dan kecepatan yang dihasilkan maka semakin besar pula perpindahan panas yang terjadi. Selain itu juga dipengaruhi oleh selisih suhu sisi masuk dan keluar seperti yang terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Perpindahan panas yang melewati dinding terhadap kecepatan

Gambar 8. menunjukkan hasil perpindahan panas yang melewati dinding drum dengan berbagai variasi kecepatan dan suhu. Berdasarkan gambar tersebut nilai perpindahan panas yang diserap mengalami kenaikan. Hal ini ditandai dengan posisi garis pada grafik tersebut mengarah linier ke atas. Dari masing-masing variasi suhu ketika kecepataannya sama terjadi kenaikan nilai perpindahan panas yang melewati dinding drum. Begitu juga ketika kecepataannya mengalami kenaikan, perpindahan panas yang terjadinya pun mengalami hal yang sama. Nilai maksimum yang dicapai pada grafik tersebut ketika kecepataannya sebesar 9 m/s dan suhunya sebesar 41,55 °C dengan nilai perpindahan panas sebesar 31,354 W. Sedangkan nilai minimumnya ketika kecepataannya 4,5 m/s dan suhunya 38,14 °C dengan nilai perpindahan panasnya sebesar 19,760 W. Dari hasil tersebut menandakan dengan ditambahnya

insulasi berupa *urethane* tebal 5 mm dan alumunium tebal 1 mm, panas yang melewati dinding drum sebesar 25,682 W ketika mencapai nilai maksimum. Sehingga dengan nilai suhu dan kecepatan tersebut dapat menghasilkan perpindahan panas yang melewati dinding ruang pengering yang semakin kecil bergantung pada selisih suhunya.

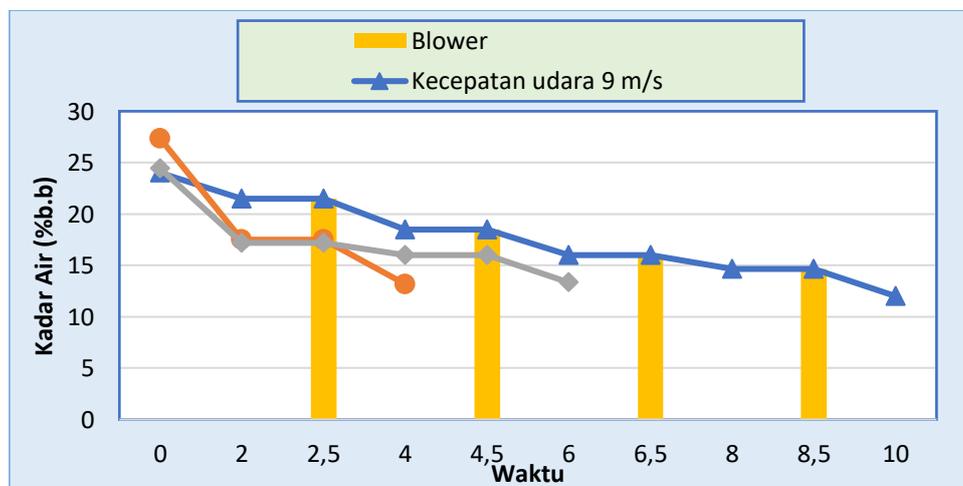
Analisis Hasil Pengujian Produk Pada Ruang Pengering

Berat awal produk dan kadar air bahan dilakukan pengukuran dan penimbangan hingga didapat hasil pengukuran dengan *moisture meter*. Berat awal bahan 15 kg dengan kadar air awal hasil pengukuran 25 % bb, setelah dilakukan pengujian pada alat pengering dengan sistem HPKU berat akhir dan kadar air akhir harus ditimbang dan diukur. Dari hasil penimbangan berat bahan menjadi 13 kg memiliki kadar air akhir bahan tersebut menjadi 13,33 % (bb) dan lama waktu pengeringan 4 jam. Seperti terlihat pada tabel 4.

Tabel 4. Data hasil pengujian kadar air bahan

Berat gabah awal [kg]	Lama waktu pengeringan [jam]	Berat gabah akhir [kg]	kadar air awal [% bb]	Kadar air akhir [% bb]
10	8	8,8	24	12
15	4	13	27	13,3
20	6	17,4	24,3	13

Analisis Kadar Air Bahan Terhadap Waktu Pengeringan



Gambar 9. grafik kadar air bahan terhadap waktu pengeringan

Persentase kadar air bahan untuk setiap variasi kecepatannya terhadap setiap waktunya ditunjukkan pada Gambar 9. grafik kadar air gabah terhadap waktu pengeringan, persentase penurunan kadar air yang paling cepat waktu pengeringannya terjadi pada saat variasi kecepatan udara 9 m/s dengan lama waktu pengeringan hanya terjadi selama 4 jam, dibanding kecepatan udara yang paling besar yaitu 12,5 m/s diperlukannya waktu pengeringan selama 6 jam. Hal ini dikarenakan tekanan pada refrigeran R-404a pada saat keadaan kecepatan udara 11 m/s tinggi dibandingkan dengan tekanan refrigeran R-404a pada saat kecepatan udara 10

m/s dan 12,5 m/s tekanannya rendah. Tekanan pada refrigeran pada saat kecepatan udara 9 m/s pada tekanan rendah sebesar 2 bar, dan untuk tekanan tingginya sebesar 22 bar.

Pengukuran kadar air pada gabah dilakukan selama 2 jam sekali dengan menggunakan *moisture meter*, kemudian mematikan mesin HPKU dan hanya menyalakan blower saja selama 30 menit kemudian menghidupkan kembali mesin HPKU seperti normal.

Kadar air untuk kecepatan udara 10 m/s pada 2 jam pertama mengalami penurunan dari 24% bb menjadi 21,5% bb, penurunan kadar air untuk kecepatan udara 10 m/s mengalami proses pengeringan paling lama dengan lama waktu proses pengeringan selama 10 jam, selain dari tekanan refrigerannya yang rendah, laju aliran massa udaranya pun rendah.

KESIMPULAN

Setelah melakukan proses simulasi pada penelitian ini, maka ada beberapa hal dapat disimpulkan yaitu Sebaran suhu yang dihasilkan dari variasi yang digunakan, pada suhu 41,85 °C merupakan hasil terbaik dibanding yang lainnya. Hal ini karena suhu yang dihasilkan cocok untuk proses pengeringan gabah. Nilai suhu 41,85 °C dan pada kecepatan 9 m/s merupakan variasi yang paling optimal untuk proses pengeringan dengan dimensi ruang pengering tipe silinder horizontal. Sedangkan untuk nilai minimum sebesar 1,5 kW ketika nilai kecepatannya 4,5 m/s dan suhu 38,14 °C. Efisiensi sistem dari mesin HPKU dari setiap variasi jika diurutkan dari yang terbesar yaitu pada laju aliran massa udaranya 0,048 kg/s sebesar 98 %, kemudian dilanjutkan laju aliran massa udaranya 0,068 kg/s sebesar 96 % dan kemudian yang terakhir pada laju aliran massa udaranya 0,060 sebesar 86 %. Efisiensi termal dari mesin HPKU setiap laju aliran massa udaranya yaitu laju aliran massa udara 0,048 kg/s sebesar 36 %, kemudian laju aliran massa udara 0,060 kg/s sebesar 54 % dan untuk laju aliran massa udara 0,068 kg/s mendapatkan 32 %. Kadar air gabah setelah dikeringkan pada setiap laju aliran massa udaranya adalah untuk laju aliran massa udara 0,040 kg/s sebesar 12 %, untuk laju aliran massa udara 0,060 kg/s sebesar 13,3 % dan untuk laju aliran massa udara 0,068 kg/s sebesar 13 %.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Ketua Pusat Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Jenderal Achmad Yani (UNJANI) Cimahi dan Fakultas Teknologi Manufaktur atas pendanaan Hibah Kompetitif Unjani yang telah diberikan.

DAFTAR NOTASI :

- M = Kadar air basis basah (%)
- m_w = Massa air dalam produk (kg)
- m_s = Massa padatan (kg)
- m_t = Massa total produk (kg)
- X = Kadar air basis kering (%)
- m_w = Massa air dalam produk (kg)
- m_s = Massa padatan produk (kg)
- L = Panjang (m)
- ρ = Massa jenis (kg/m^3)
- \dot{m} = Laju aliran massa (kg/s)

A = Luas penampang (m^2)
 v = Kecepatan aliran fluida (m/s)
 μ = Viskositas absolut fluida (Pa.s)
 k_f = Konduktifitas termal refrigeran ($W/m\ ^\circ C$)
 ρ_f = Massa jenis refrigeran (kg/m^3)
 bb = Basis basah (%)
 bk = Basis kering (%)
 $k.a.$ = Kadar air (%)
 T_E = Suhu pengembunan ($^\circ C$)
 T_C = Suhu penguapan ($^\circ C$)
 Q_{Eva} = Panas evaporator (W)
 P_{Comp} = Tekanan kompresor (Pa)
 Q_{Cond} = Panas condenser (W)
 T_{Ling} = Suhu lingkungan ($^\circ C$)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Yahya , "Kajian Karakteristik Pengering Fluidisasi Terintegrasi dengan Tungku Biomassa untuk Pengeringan Padi," *Jurnal Teknik Mesin*, pp. Vol. 5 No.2, 65-71, 2015.
- [2] A. a. Z. Karbassi, "*Drying Rough Rice in a Fluidized Bed Dryer*," *J. Agric. Sci.*, pp. Vol. 10: 233-241, 2008.
- [3] D. Biksono, "*Analyzing the Characteristic of Vapor Compression Heat Pump System*," *International Journal Innovative Reseach in Advancend Enngineering (IJIRAE)*, vol. 2, no. 10, pp. 123-118, 2015.
- [4] D. Biksono , "*The Analysis of Vapor Compression Heat Pump System for Rough Rice Drying*," *Jurnal Keteknikan Pertanian (JTPEP)*, vol. 4, no. 2, pp. 139-146, 2016.
- [5] Karwito, *Kajian distribusi aliran dan suhu udara dalam model alat pengering*, Bogor: Institut Pertanian Bogor, Bogor., 1998.
- [6] D. Wulandani, "Analisis Distribusi suhu dan Kecepatan aliran Udara dalam ruang Pengering Berenergi Surya menggunakan CFD," *Jurnal Keteknikan Pertanian (JTPEP)*, vol. 17, no. 1, 2003.
- [7] A. Fansuri, *Pendekatan CFD Untuk Optimasi Keseragaman Aliran Udara pada Pengering Gabah Tipe Bak*, Bogor, Institut Pertanian Bogor, 2013.
- [8] D. Biksono, *Teknik Pengeringan Dasar*, Penerbit Deepublish, Yogyakarta, 2021.
- [9] F. Tuakia, *Dasar-Dasar CFD menggunakan Fluent*, Bandung: Informatika, 2008.