

PERANCANGAN DAN PENGUJIAN *HEAT EXCHANGER* TIPE GAS DAN GAS UNTUK PEMANASAN UDARA UMPAN KE MESIN *FLUID SPRAY DRYER*

Putra Perdana Bandi^{1††}, Ramon Trisno^{2‡‡}

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

ABSTRAK. Mesin *FSD (Fluid Spray Dryer)* merupakan salah satu mesin pengolah makanan dan minuman yang digunakan pada proses pengeringan semprot. Proses pengeringannya menggunakan udara panas yang dihasilkan dengan sistem pemanas bertenaga listrik yaitu *electric heater*. Mesin yang digunakan pada laporan ini berskala pabrik percontohan yang memiliki skala produksi yang tidak besar. Karena adanya ketersediaan uap air panas bertekanan yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pemanas untuk udara umpan pada proses pengeringan dari pabrik produksi di dekat pabrik percontohan ini, penulis merancang suatu sistem pemanas baru berupa *heat exchanger* bertipe gas dan gas yang digunakan untuk memanaskan udara umpan untuk proses pengeringan tersebut. Perancangan dilakukan dengan metode *NTU*, mengacu pada pengambilan data temperatur udara umpan dengan sistem pemanasan awal. Hasil perancangan dijadikan acuan untuk *heat exchanger* yang tersedia dan akan digunakan. Kemudian dilakukan perhitungan secara teoritis pada sistem yang baru sesuai dengan luas permukaan *heat exchanger* yang ada untuk mencari nilai temperatur udara umpan hasil pemanasan. Selain itu juga dilakukan pendekatan komputasi dengan *software*, dan juga pengujian melalui pengambilan data temperatur aktual pada sisi keluaran udara yang dipanaskan oleh *heat exchanger*. Pada perhitungan secara teoritis dengan metode *NTU*, temperatur hasil perancangannya 378,268 K. Melalui pendekatan komputasi, nilai temperatur yang mampu tercapai pada sisi keluaran udara umpannya adalah 378,322 K. Sedangkan berdasarkan pengambilan data secara aktual, temperatur yang dihasilkan adalah 385,72 K.

Kata kunci—*pengeringan semprot, fluid spray dryer, heat exchanger, temperatur data logger, computational fluid dynamic*

PENDAHULUAN

Teknik pengeringan produk minuman yang cukup populer adalah pengeringan semprot atau spray drying. Mesin yang digunakan untuk menjalankan proses ini adalah *Fluid Spray Dryer (FSD)* yang memerlukan udara panas yang dihasilkan oleh pemanas berupa *electric heater* yang mengonsumsi energi listrik dengan daya yang cukup tinggi selama proses pengolahannya. Pada penelitian ini, mesin yang dioperasikan memiliki skala produksi pabrik percontohan dan letaknya berdampingan dengan pabrik produksi, dimana terdapat ketersediaan uap air panas atau steam air yang berlebih, karena hanya digunakan untuk menjaga temperatur material untuk produksi pada tangki penampungan tetap tinggi, agar produk tidak mengalami pengentalan. Karena adanya ketersediaan uap air panas bertekanan yang cukup dari ketel uap yang tersedia pada pabrik produksi di dekat pabrik percontohan ini, serta memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai pemanas untuk udara umpan mesin *FSD*, penulis berinovasi untuk merancang suatu sistem pemanas baru yang berupa *heat exchanger* bertipe gas dan gas yang digunakan untuk memanaskan udara panas umpan mesin berskala pabrik percontohan tersebut. Dengan adanya sistem pemanas baru ini diharapkan dapat mengurangi penggunaan konsumsi listrik pada alat ini, khususnya dibagian pemanas yang awalnya menggunakan *electric heater*. Alat penukar kalor baru yang dirancang harus memiliki kemampuan memanaskan udara melebihi sistem pemanas awal. Selain sebagai tuntutan untuk dinyatakan mampu menggantikan *electric heater*, temperatur hasil pemanasan yang lebih tinggi juga dapat dijadikan sebagai peluang untuk pengeringan produk lain pada mesin ini yang membutuhkan temperatur pengeringan yang lebih tinggi. Di samping itu, udara umpan panas yang memiliki temperatur lebih

†† Corresponding author: putrabandi96@gmail.com

‡‡ Corresponding author: ramon_t@univpancasila.ac.id

tinggi juga dapat mempengaruhi proses pengeringan di produk yang sama menjadi lebih cepat. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Nur Kholis, terdapat beberapa metode untuk memanaskan udara umpan selain dengan listrik, diantaranya adalah dengan menggunakan pemanas refrijerasi dan *dehumidifier* [1]. Pada penelitian tersebut, dilakukan perbandingan antara kinerja pemanas refrijerasi dan *dehumidifier*, dan menunjukkan kecenderungan yang sama dengan sistem pemanas listrik di suhu pemanasan 353 K sampai 433 K. Namun pada penelitian tersebut hanya berfokus pada laju pengeringan udara pada alat penukar kalor. Pada penelitian yang dilakukan oleh T.R. Dwika, dkk. dengan material produk yang dikeringkan seperti karaginan, analisa mengenai pengaruh suhu dan laju alir udara pengering dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air produk dipengaruhi oleh suhu dan kecepatan udara pengering yang masuk [2]. Temperatur udara umpan hasil sistem pemanas *electric heater* yang dibutuhkan untuk proses pengeringan adalah 373,15 K. Penelitian lain yang dilakukan oleh Boris Golman dan W. Juklang, dimana dilakukan penggunaan *heat exchanger* sebagai pemanasan awal dengan penggunaan kembali panas yang terbuang dari mesin [3]. Alat penukar kalor tersebut dapat meningkatkan efisiensi dari sistem pemanasannya. Namun penelitian tersebut hanya menggunakan simulasi dari *software* Visual Basic, tanpa perancangan alat penukar kalornya. Begitu pula dengan penelitian oleh Timothy G. Walmsley, dkk. penggunaan *heat exchanger* sebagai sistem pemanas kembali juga menunjukkan peningkatan efisiensi pada sistem pemanasannya hingga 10 %. Namun pada kedua penelitian tersebut belum dilakukan penggunaan *heat exchanger* sebagai sistem pemanas utamanya. Temperatur udara yang dibutuhkan pada proses pengeringan pun beragam sesuai dengan material produknya. Contohnya seperti untuk pengeringan konsentrat jus jeruk, temperatur udara umpan yang diperlukan adalah 383 K [4], sedangkan untuk jus buah pada umumnya, temperatur udara umpan yang dipanaskan minimal adalah 363 K [5].

Perumusan masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, yang menjadi rumusan permasalahan yang dibahas dalam laporan ini adalah mengenai bagaimana potensi *steam air* yang dapat dijadikan pemanas pada sistem *heat exchanger* bertipe gas dan gas dan dapat menggantikan *electric heater* pada mesin *FSD*, berapa temperatur *inlet* dan *outlet* untuk udara umpan ke mesin *FSD* yang melewati *heat exchanger* tersebut yang akan dimanfaatkan untuk pengeringan cairan produk dan berapa luasan alat penukar kalor tersebut sesuai dengan kebutuhan pemanasan udara umpan pada mesin *FSD* tersebut.

Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang suatu sistem *heat exchanger* bertipe Gas dan Gas dengan metode *NTU* yang akan menggantikan *electric heater* pada mesin *FSD* supaya dapat mengurangi konsumsi listrik pada mesin tersebut, menghitung luas penampang alat penukar kalor pada sistem yang baru dan menguji temperatur udara pada *heat exchanger* pada sisi *inlet* dan *outlet* pada udara umpan ke mesin agar udara umpan yang dipanaskan mampu digunakan pada pengeringan cairan produk..

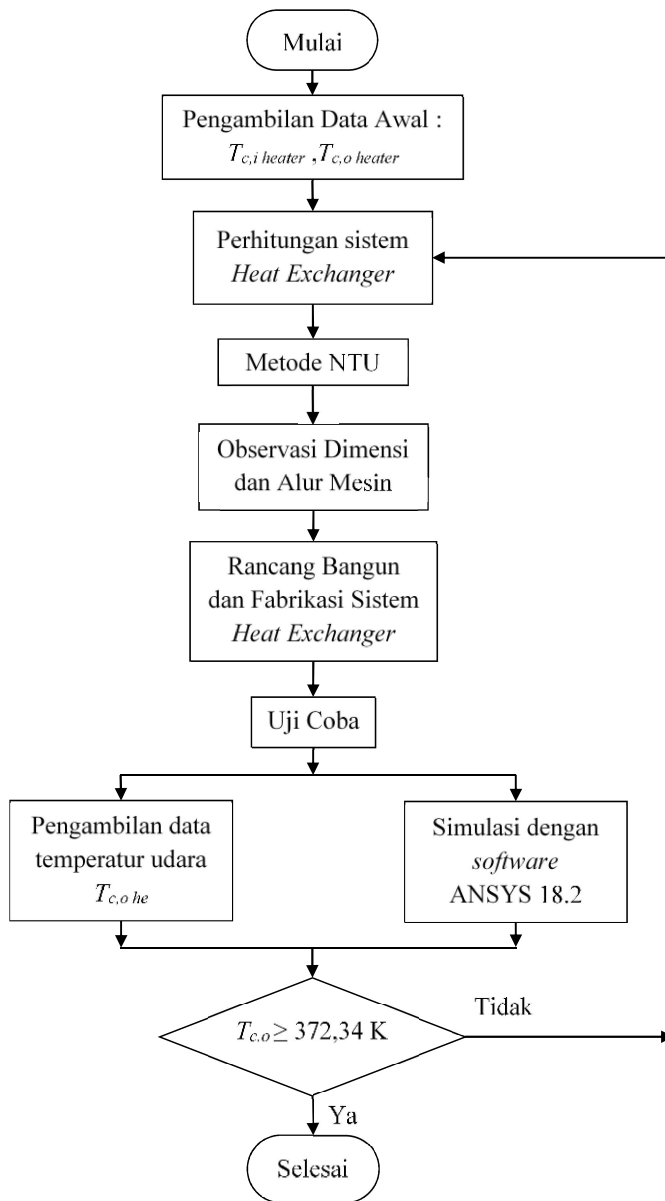
Cakupan penelitian

Dalam laporan ini, penulis tidak membahas mengenai mengenai sifat-sifat material bahan untuk produk umpan ke mesin *Fluid Spray Dryer*, komponen lain pada mesin yang tidak berkaitan dengan sistem pemanasan udara umpan ke mesin *Fluid Spray Dryer*, cara kerja *electric heater* secara detail, dan konsumsi listrik pada *electric heater*. Mesin *Fluid Spray Dryer* yang dibahas hanya yang berskala pabrik percontohan dengan spesifikasi yang sama dengan yang digunakan pada penelitian ini.

METODE

Perancangan dan pengujian ini berfokus pada peningkatan temperatur udara umpan yang masuk ke mesin *Fluid Spray Dryer (FSD)*. Pada perancangannya dilakukan perhitungan perpindahan panas untuk sistem *Heat Exchanger*, perhitungan ini dilakukan dengan metode *NTU (Native Transfer Units)*. Sistem pemanas baru yang akan dibuat akan mengacu pada perhitungan dengan metode tersebut. Setelah seluruh perancangan selesai, maka dilanjutkan ke proses bangun atau pembuatan sistem alat penukar kalor yang baru, dan dilanjutkan dengan pengujian yaitu mengambil data temperatur udara panas hasil alat penukar kalor pada sistem yang baru untuk melihat performa *heat exchanger* tersebut.

Selain pengambilan data pada percobaan yang berupa data nilai temperatur pada kondisi aktual, dilakukan juga simulasi dengan perangkat lunak pada komputer atau bisa disebut pendekatan komputansi. menggunakan simulasi CFD dari *software* ANSYS.



Gambar 2.1 Diagram alir penelitian

Peralatan penelitian

Perancangan dan pengujian dilakukan pada mesin *FSD* dengan merek *NIRO* type *Mobile Minor*, khususnya pada bagian-bagian yang berkaitan dengan perancangan sistem pemanasnya. Bagian-bagian berkaitan tersebut adalah yang dapat mempengaruhi kinerja perpindahan panas pada alat penukar kalornya, sehingga dapat dikatakan sebagai peralatan penelitian.

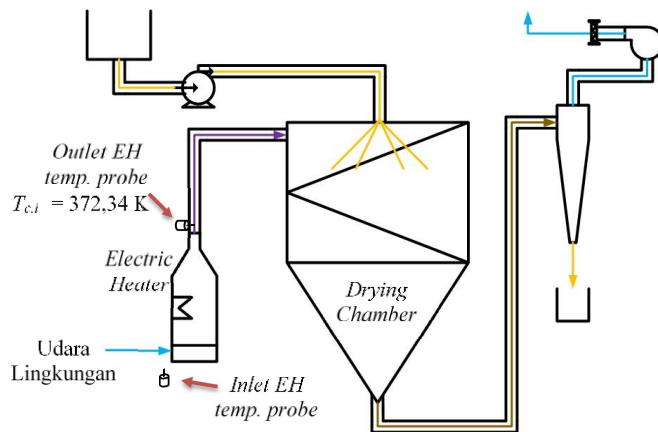
Peralatan pengukuran

Data yang digunakan pada laporan ini adalah data temperatur udara. Untuk mendapatkan data temperatur tersebut pada perancangan dan pengujian ini diperlukan beberapa peralatan pengukuran yaitu *temperatur data logger probe* dan perangkat komputer dengan *software Qlever*.

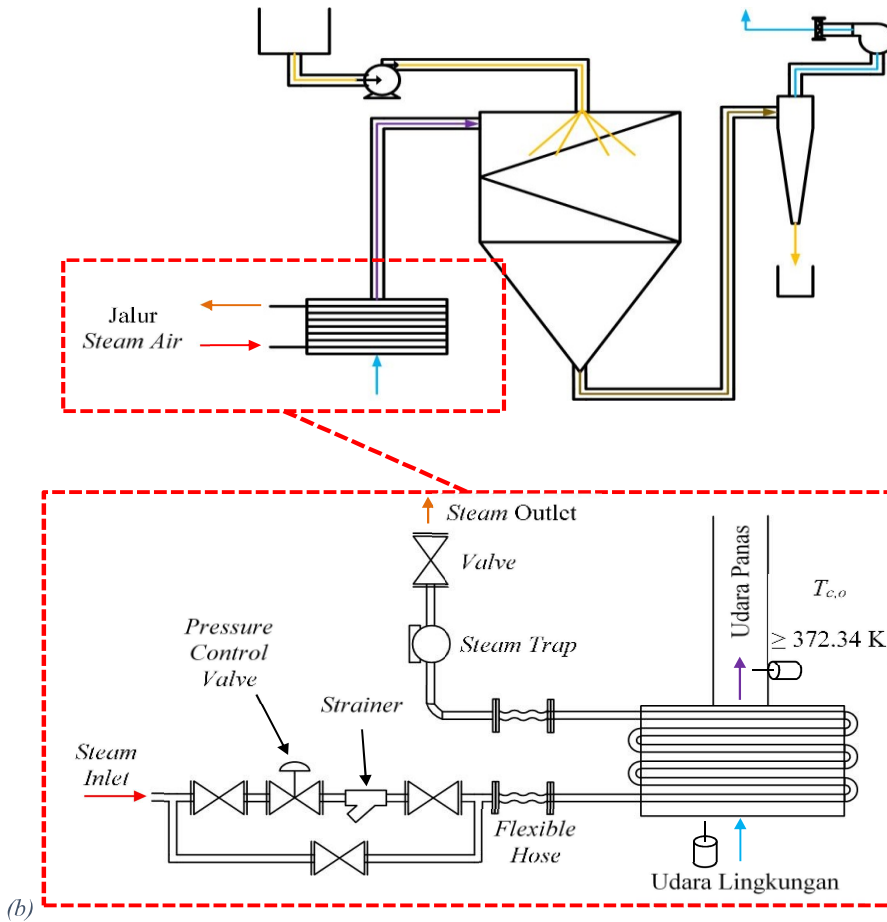
Kondisi percobaan

Pengambilan data awal dengan sistem pemanas yang berupa *electric heater*. Pengukuran temperatur udara dilakukan dengan menggunakan *temperature data logger* yang dipasang di sisi *inlet* dan *outlet*-nya. Data temperatur udara tersebut akan dijadikan sebagai acuan pada perancangan alat penukar kalor yang baru. Kondisi pertama, dimana sistem pemanasan pada mesin masih sesuai dengan desain dari pabrik pembuatannya, yaitu dengan *electric heater*.

Yang kedua adalah pengambilan data setelah perancangan, dimana sistem pemanasan pada mesin menggunakan alat penukar kalor yang baru dirancang, yaitu *heat exchanger* tipe gas dan gas. Setelah dilakukan rancang bangun sistem pemanas dengan *heat exchanger* tipe gas dan gas, perlu dilakukan pengambilan data yang baru. Pengambilan data temperatur pada sistem yang baru ini juga dilakukan pada sisi *inlet* dan *outlet* udara umpannya sebagai pembandingan dengan sistem sebelumnya. Untuk lebih detail, dapat dilihat pada gambar berikut.



(a)



Gambar 2.2 Letak pengambilan data perobaan pertama (a) dan kedua (b)

Dasar perhitungan

Pada perancangan ini perpindahan kalor terjadi antar kedua fluida yang bergerak, sehingga jenis perpindahan kalornya adalah perpindahan kalor konveksi. Untuk mendapatkan nilai koefisien perpindahan kalor konveksi perlu dilakukan perhitungan untuk bilangan *Nusselt*, bilangan *Reynold* dan bilangan *Prandtl*, yang dipengaruhi oleh luas penampang alat penukar kalor dan sifat material dari fluida panas dan dinginnya. Sistem pemanas pada alat laporan ini menggunakan *steam air* sebagai fluida pemanasnya dan yang dipanaskan adalah udara atmosfer dengan suhu lingkungan.

Pada awal perancangan perlu dilakukan perhitungan bilangan *Reynolds*. Rumus untuk menghitung bilangan *Reynolds* adalah sebagai berikut :

$$Re = \frac{c \times d \times \rho}{\mu} \quad (2.1)$$

Untuk perhitungan bilangan *Nusselt*, terdapat perbedaan perhitungan pada fluida pemanas dan fluida pendinginnya. Pada sisi fluida pemanas yang berupa *steam air*, uap air panas mengalir dalam pipa dan dengan aliran turbulen, sehingga rumus bilangan *Nusselt*-nya adalah :

$$Nu = 0,023 \times Re^{0,8} \times Pr^n \quad (2.2)$$

Sedangkan pada fluida yang dipanaskan berupa udara atmosfer yang melewati pipa-pipa tersebut. Jumlah pipa di alat laporan ini melebihi 16 buah dan bertipe *staggered* atau saling silang. Rumus perhitungan bilangan *Nusselt*-nya adalah :

$$Nu = 0,35 \times Re^{0,6} \times Pr^{0,36} \times \left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0,25} \times \left(\frac{X_t}{X_l} \right)^{0,2} \quad (2.3)$$

Kemudian, setelah mendapat nilai bilangan *Nusselt* pada kedua sisi fluidanya, maka langkah selanjutnya adalah menghitung koefisien perpindahan kalor konveksi di masing-masing fluida dengan persamaan sebagai berikut :

$$Nu = \frac{h \times l}{k} \quad (2.4)$$

Setelah selesai melakukan perhitungan koefisien perpindahan kalor konveksi, selanjutnya perlu dilakukan perhitungan koefisien perpindahan kalor menyeluruh. Dengan rumus :

$$U = \frac{1}{\frac{A_o}{A_i h_i} + \frac{A_o}{A_i} R_{fi} + \frac{A_o \ln(D_o + D_i)}{2\pi k L} + R_{fo} + \frac{1}{h_o}} \quad (2.5)$$

Berdasarkan hukum kekekalan energi, nilai laju perpindahan panas dapat ditentukan dengan rumus dibawah ini :

$$Q = \dot{m}_c \times c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (2.6)$$

NTU (*The Number of Transfer Units*) adalah jumlah satuan perpindahan panas yang merupakan tolak ukur perpindahan panas suatu penukar panas. Metode $\varepsilon - NTU$ dapat digunakan, jika temperatur sisi keluar pada salah satu sisi alat penukar kalor baik itu sisi fluida panas maupun fluida dingin tidak diketahui.

Pada perhitungan luas penampang dengan metode *NTU*, perlu dilakukan perhitungan C_{min} pada tahap awal terlebih dahulu. C_{min} adalah harga terkecil dari perkalian antara laju aliran massa fluida dingin dengan c_c atau c_h .

$$C_c = \dot{m}_c \times c_c \quad (2.7)$$

Nilai Q_{maks} dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q_{maks} = C_{min} (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (2.8)$$

Sehingga nilai C adalah yang merupakan pembagian C_{min} dan C_{max} adalah :

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (2.9)$$

Maka nilai efektifitas yang didapat menjadi :

$$\varepsilon = \frac{Q_{aktual}}{Q_{maks}} \quad (2.10)$$

Alat penukar kalor untuk perancangan dan pengujian ini berjenis *cross-flow*, maka nilai efektifitasnya dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$NTU = \frac{-1}{C} \ln(1 + C \ln(1 - \varepsilon)) \quad (2.11)$$

Sehingga luas penampang minimalnya yang dapat dihitung dengan persamaan adalah :

$$NTU = \frac{UA}{C_{\min}} \quad (2.12)$$

Selain pengambilan data pada percobaan yang berupa data nilai temperatur pada kondisi aktual, dilakukan juga simulasi dengan perangkat lunak pada komputer atau bisa disebut pendekatan komputansi. Tahap komputasi ini menggunakan simulasi CFD dari software ANSYS. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk :

1. Mendapatkan gambaran tentang performa sistem pemanas baru yang menggunakan alat penukar kalor berupa heat exchanger
2. Membandingkan hasil simulasi CFD yang didapat dengan hasil pengambilan data yang dilakukan setelah perancangan.
3. Simulasi CFD ini dapat memvisualisasikan nilai temperatur yang dihasilkan pada sisi outlet yang dihasilkan oleh heat exchanger.

Bentuk geometri dari heat exchanger ini dibuat dalam 3D. Pembuatan geometri model menggunakan software SolidWORKS versi 2013. Model diekspor menjadi file dengan ekstensi parasolid (.x_t) setelah model tersebut selesai dibuat, sehingga file ini dapat terbaca oleh software ANSYS Fluent. Geometri yang sudah dibuat, diimpor ke dalam DesignModeler untuk diedit. Setelah selesai, maka dilanjutkan dengan mengedit Meshing. Dalam proses pemecahan persamaan-persamaan pengatur pada komputasi ini, digunakan pendekatan metode volume (finite volume) hingga dengan bantuan sebuah pemecahan persamaan (solver) yang merupakan bagian dari perangkat lunak komersial ANSYS 18.2 yaitu Fluid Flow (Fluent). Secara ringkas beberapa tahapan-tahapan pada proses ini adalah aproksimasi aliran yang tidak diketahui dilakukan dengan menggunakan fungsi sederhana, diskritisasi dengan mensubstitusi hasil aproksimasi ke dalam persamaan aliran disertai dengan manipulasi matematik, dan penyelesaian persamaan aljabar. Proses ini merupakan pencarian solusi numerik terhadap persamaan-persamaan yang meliputi persamaan kekekalan massa dan momentum. Kondisi pendekatan komputasi untuk pengujian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 2.1 Kondisi komputasi untuk pengujian

Kondisi Komputasi	Pengukuran Frekwensi
<i>Model :</i>	3 D
<i>Solver :</i>	
- <i>Type</i>	<i>Pressure Based</i>
- <i>Velocity Formulation</i>	<i>Absolute</i>
- <i>Time</i>	<i>Transient</i>
- <i>Units</i>	- <i>Length (mm)</i> - <i>Temperature (K)</i>
<i>Models :</i>	
- <i>Viscous Model</i>	<i>k-epsilon (2eqn)</i>
- <i>k-epsilon Model</i>	<i>Realizable</i>
- <i>Near-Wall Treatment</i>	<i>Scalable Wall Function</i>
<i>Boundary Condition :</i>	
- <i>Velocity Specification Method</i>	<i>Magnitude, normal to Boundary</i>
- <i>Turbulence Intensity</i>	<i>5%</i>

<i>Reference Values :</i> - Fluids - Solid	- Air - Water-vapor Copper
<i>Surface :</i> - 3 body	solid
<i>Solution Method :</i> - Pressure-Velocity Coupling - Turbulent Kinetic Energy - Turbulent Dissipation Rate	Simple First order upwind First order upwind
<i>Solution Control :</i> - Body Forces - Momentum - Turbulent viscosity	1 0,7 1
<i>Solution Initialization :</i> - Initialization Methods	: Hybrid Initialization
Run Calculation : - Time Step Size (s) - Number of Time Steps - Max Iterations/Time Step	0,1 (60 data/s) 50 100

HASIL

Perhitungan

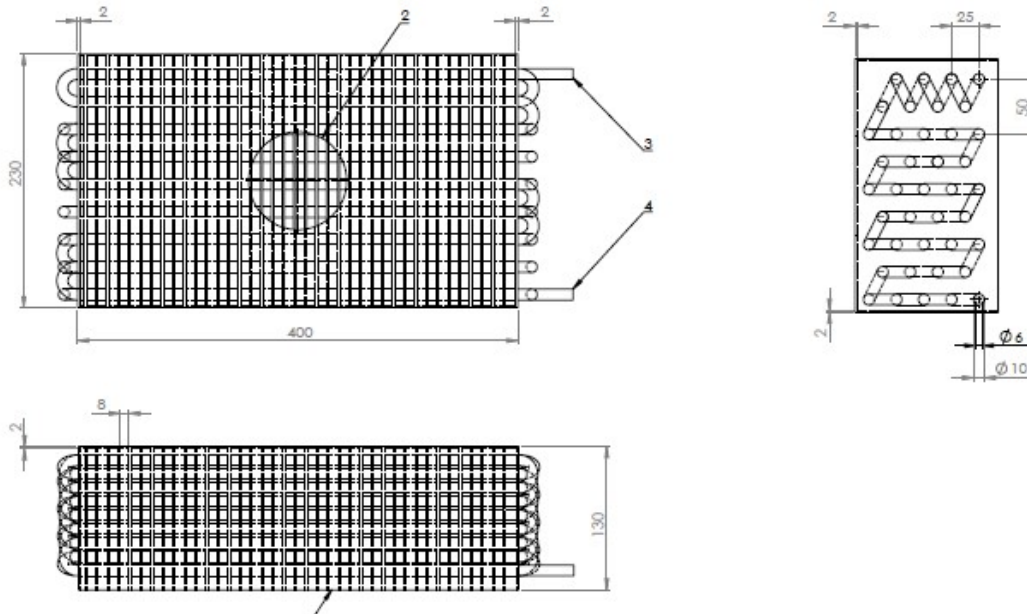
Berdasarkan hasil pengambilan data pada sistem pemanas awal, menunjukkan bahwa temperatur tertinggi hasil *electric heater* yang perlu dicapai pada udara umpan ($T_{c,o}$) adalah 372,34 K dan temperatur rata-rata udara lingkungannya ($T_{c,i}$) adalah 306,33 K. Oleh karena itu, kedua data tersebut dapat dijadikan sebagai dasar perhitungan system *heat exchanger*.

Sifat material *steam air* pada tekanan 4,761 bar yang digunakan sebagai fluida pemanas pada *heat exchanger ini* memiliki massa jenis 2,542 kg/m³, dan viskositas dinamik 1,39×10⁻⁵ kg/ms. *Steam air* diatur dengan *pressure control valve* di tekanan 4,761 bar, dengan asumsi bahwa pada *steam table* suhunya akan mencapai 150 °C pada tekanan tersebut. Lalu kecepatan aliran *steam* untuk memanaskan *tube* berdiameter 0,006 m adalah 15,186 m/s. Nilai bilangan *Prandatl* sebesar 1,0697. Pada bagian fluida udara umpan berupa udara, massa jenisnya 1,153 kg/m³, Viskositas dinamik 1,87 kg/ms, kecepatan aliran udara 3,167 m/s, dan bilangan *Prandatl* sebesar 0,712. Mengacu pada data tersebut, maka dari hasil perhitungan didapatkan nilai koefisien kalor konveksi pada *steam air* adalah 282,339 W/m²K, sedangkan untuk udara nilainya adalah 417,383 W/m²K.

Setelah selesai melakukan perhitungan koefisien perpindahan kalor konveksi di sisi luar dan dalam *tube* dari *heat exchanger*, selanjutnya perlu dilakukan perhitungan koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada alat penukar kalor ini dan hasilnya adalah 75,826 W/m²K

Nilai laju perpindahan panas alat penukar kalor ini adalah 1.475,69J/s. Pada perhitungan luas penampang dengan metode NTU, perlu dilakukan perhitungan C_{min} pada tahap awal terlebih dahulu. C_{min} adalah harga terkecil dari perkalian antara laju aliran massa fluida dingin dimana yang dipilih adalah c_c yang nilainya 22,357 J/sK. Nilai Q_{maks} dapat dihitung dan nilainya adalah 2.611,576 J/s. Maka nilai efektifitas yang didapat hasilnya 0,565. Sehingga nilai C adalah yang merupakan pembagian C_{min} dan C_{max} adalah 0,757. Alat penukar kalor untuk perancangan dan pengujian ini berjenis *cross-flow*, maka nilai NTU -nya adalah 1,315. Dan luas penampang yang dibutuhkan adalah 0,3876 m².

Alat penukar yang digunakan pada perancangan dan pengujian merupakan sebuah *heat exchanger* yang berbentuk *cross-flow* yang memiliki *tube* berdiameter luar 10 cm dan memiliki panjang *tube* 40 cm.



Gambar 3.1 Heat Exchanger tipe gas dan gas yang tersedia dan digunakan dalam perancangan)

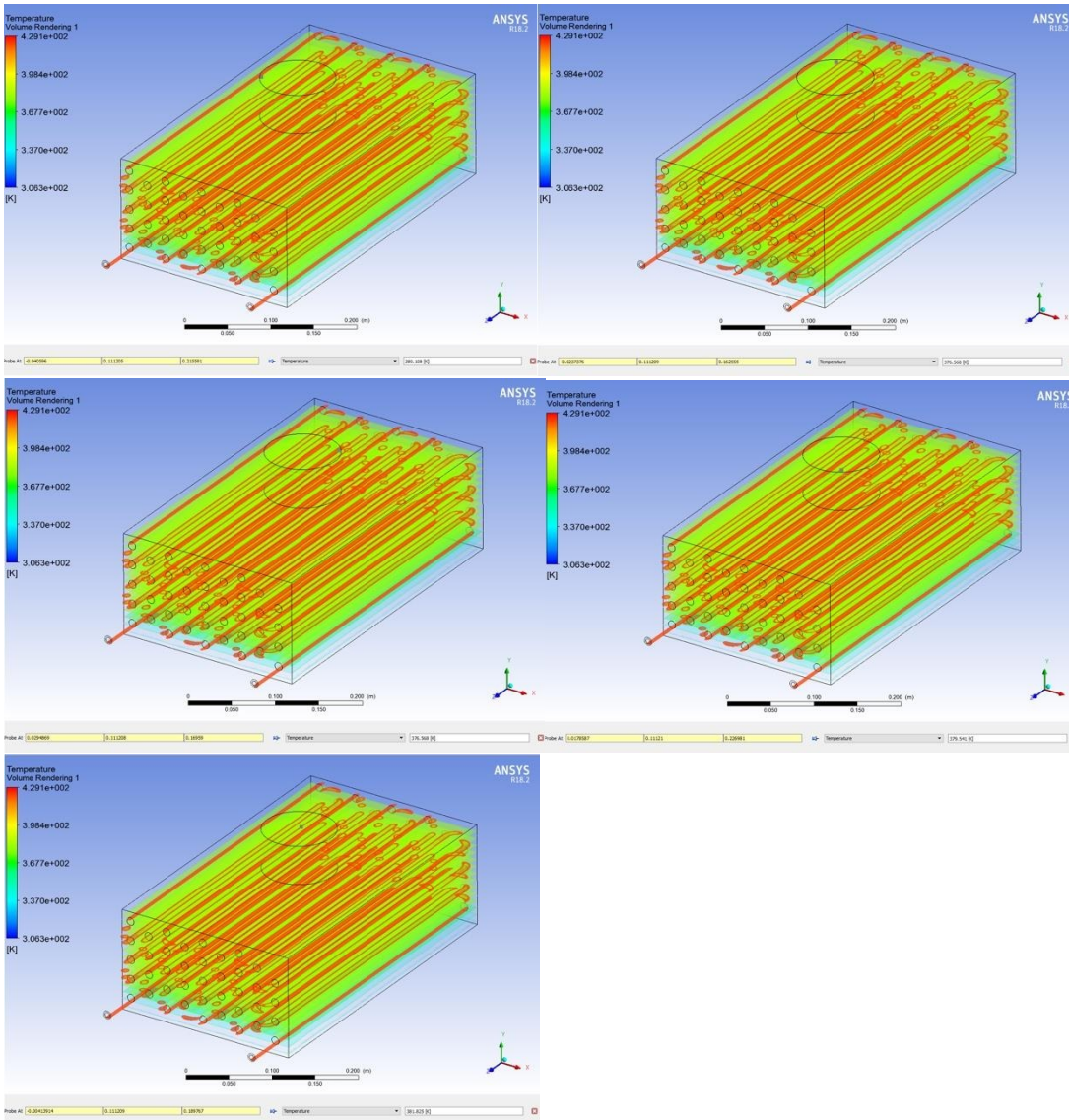
Pipa-pipa yang bersusunan *staggered* pada alat penukar kalor ini berjumlah 40 buah sehingga luasnya adalah 0,50286 m². Dari luas alat penukar tersebut, apabila dibandingkan dengan perhitungan perancangan dengan metode NTU , dapat dilihat bahwa luasnya sudah lebih dari cukup dari perhitungan keduanya. Sehingga alat penukar kalor ini dapat diasumsikan mampu untuk mengganti kinerja dari *electric heater*. Luasan yang lebih besar ini akan berpengaruh terhadap hasil akhir dari $T_{c.o}$. Karena itu pada pengoperasiannya perlu dilakukan penyesuaian tekanan udara *steam* agar temperatur yang dicapai dapat lebih tepat.

Karena terdapat perbedaan luas penampang, maka nilai temperatur udara panas yang dihasilkan oleh *heat exchanger* ini pun berbeda. Luas yang dimiliki oleh alat penukar kalor ini lebih besar sehingga mengindikasikan temperatur *outlet* T_{co} yang lebih tinggi. Perhitungan nilai temperatur pada sisi keluaran udara umpan yang dipanaskan juga dilakukan dengan metode NTU , dimana hasilnya 1,706.

Untuk mendapatkan nilai kenaikan suhu, perlu dilakukan perhitungan nilai Q kembali. Nilai yang berpengaruh perhitungannya adalah ϵ , karena nilai Q_{maks} telah diperoleh tanpa harus mencari suhu keluaran pada fluida dinginnya. Setelah dilakukan perhitungan, nilainya adalah 0,616 dan laju perpindahannya 1.608,992 J/s. Dengan laju perpindahan panas yang sesuai dengan metode NTU dan dimensi alat penukar kalor yang terpasang ini, maka dapat dilakukan perhitungan nilai temperatur udara pada sisi *outlet* udara umpannya dan hasilnya 378,268 K.

Dari perhitungan tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem pemanas yang baru dengan alat penukar kalor berupa *heat exchanger* tipe gas dan gas ini mampu meningkatkan suhu dari udara lingkungan menjadi 378,268 K pada metode NTU . Sesuai dengan perhitungan tersebut *heat exchanger* ini diasumsikan mampu melebihi kebutuhan sistem pemanasan udara.

Selain pengujian aktual dengan melakukan pengambilan data pada sisi *inlet* dan *outlet* pada *heat exchanger* yang sudah dirancang, dilakukan juga pengambilan data dengan menggunakan pendekatan komputasi melalui perangkat lunak *ANSYS 18.2* pada komputer. Data yang diambil ini merupakan nilai temperatur udara pada sisi keluaran *heat exchanger*. Dibawah ini merupakan gambar-gambar hasil pendekatan komputasi, dimana pada setiap gambar terdapat data-data nilai temperatur yang diambil pada beberapa titik di sisi *outlet heat exchanger*.



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

Dibawah ini merupakan tabel hasil pengujian dengan pendekatan komputasi pada masing-masing koordinat titiknya.

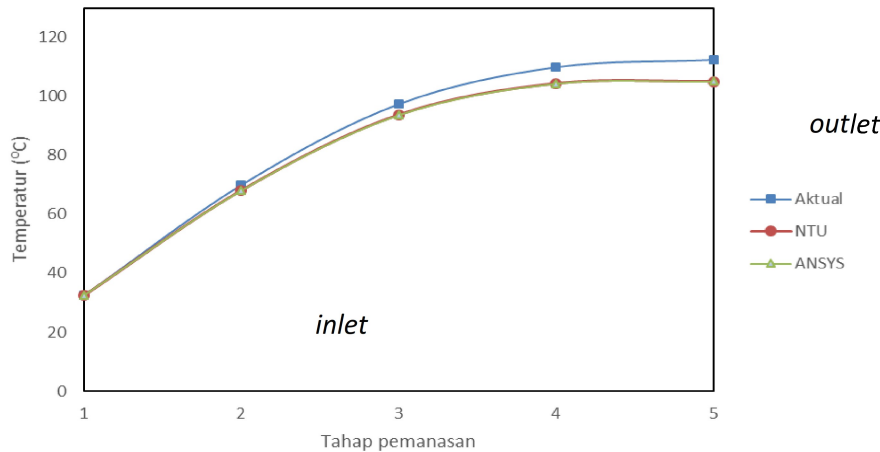
Tabel 3.1 Tabel hasil pengujian dengan pendekatan komputasi di beberapa titik

Koordinat	Temperatur udara (K)
X : -0,0377; Y : 0,1113; Z : 0,2096	380,108
X : -0,0041; Y : 0,1113; Z : 0,1621	376,568
X : 0,0377; Y : 0,1113; Z : 0,1883	376,568

X : 0,0073; Y : 0,1113; Z : 0,2338	376,541
X : -5,177e-05; Y : 0,1113; Z : 0,1934	381,825

Dari beberapa data tersebut dapat diamati bahwa nilai temperatur udaranya mengalami peningkatan dari suhu lingkungan menjadi lebih panas dan berada di rata-rata temperatur yaitu sekitar 378,322 K melebihi nilai peningkatan temperatur yang dibutuhkan, yaitu $T_{c,o} \geq 372,34$ K.

Setelah melakukan perhitungan secara teoritis melalui metode *LMTD*, metode *NTU*, pendekatan komputasi dengan *software ANSYS 18.2*, dan pengambilan data aktual secara langsung, terdapat beberapa data temperatur udara di sisi keluaran fluida dingin sesuai dengan metode masing-masing.



Gambar 3.3 Grafik nilai temperatur pada beberapa hasil perancangan dan pengujian

Grafik di atas adalah keempat nilai temperatur di sisi *outlet* pada fluida dinginnya, dalam hal ini adalah udara umpan. Pada grafik di atas dapat dilihat terdapat sedikit perbedaan pada beberapa nilai temperatur udara keluarnya sesuai dengan masing-masing sumbernya. Nilai temperatur yang dihasilkan pada hasil perancangan dengan metode *NTU* 378,268 K. Melalui pendekatan komputasi, nilai temperatur yang mampu tercapai pada sisi keluaran udara umpannya adalah 378,322 K. Sedangkan berdasarkan pengambilan data secara aktual, temperatur yang dihasilkan adalah 385,72 K.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa:

- Heat Exchanger* bertipe Gas dan Gas yang tersedia dan dipakai pada perancangan dan pengujian ini dinyatakan dapat menggantikan fungsi *heating elements* sebagai pemanas udara umpan mesin *FSD*.
- Luas penampang alat penukar kalor yang dibutuhkan oleh mesin, jika dihitung secara teoritis dengan menggunakan metode *NTU* adalah 0,3876 m². Sedangkan luas penampang *heat exchanger* yang tersedia adalah 0,5029 m².
- Berdasarkan hasil pengujian, *heat exchanger* baru yang terpasang pada mesin *FSD* mampu memanaskan udara dari temperatur 306,33 K hingga melebihi 372,34 K.

Saran

Setelah perancangan dan pengujian ini, diharalatkan penukar kaloran ada penelitian selanjutnya yang membahas mengenai:

- a. Nilai temperatur udara yang diperlukan sesuai dengan kualitas material
- b. Sistem kontrol otomatis pada *pressure control valve* agar mengatur tekanan udara paada *steam* agar temperatur udara yang dihasilkan dapat lebih stabil sesuai dengan kebutuhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Kholis, “Perancangan, Simulasi CFD dan Eksperimen Pengering Semprot: Perbandingan Antara Pemanas Listrik dengan Pemanas Refrijerasi dan Dehumidifer,” 2010.
- [2] T. R. Dwika, C. Ceningsih, and S. B. Sasongko, “Pengaruh Suhu dan Laju Alir Udara Pengering Pada Pengeringan Karaginan Menggunakan Teknologi Spray Dryer,” *J. Teknol. Kim. dan Ind.*, vol. 1, no. 1, pp. 298–304, 2012.
- [3] B. Golman and W. Julklang, “Simulation of exhaust gas heat recovery from a spray dryer,” *Appl. Therm. Eng.*, 2014.
- [4] A. M. Goula and K. G. Adamopoulos, “A new technique for spray drying orange juice concentrate,” *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2010.
- [5] B. R. Bhandari, A. Senoussi, E. D. Dumoulin, and A. Lebert, “Spray Drying of Concentrated Fruit Juices,” *Drying Technology*. 1993.
- [6] C. Anandharamakrishnan and S. Padma Ishwarya, *Spray Drying Techniques for Food Ingredient Encapsulation*. 2015.
- [7] Z. Fang and B. Bhandari, “Spray drying, freeze drying and related processes for food ingredient and nutraceutical encapsulation,” in *Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals*, 2012.
- [8] H. L. Raji Putri, A. Hidayati, D. T. Widyaningsih, N. Wijayanti, and J. M. Maligan, “Pengendalian Kualitas Non Dairy Creamer pada Kondisi Proses Pengeringan Semprot di PT. Kievit Indonesia, Salatiga: Kajian Pustaka,” *J. Pangan dan Agroindustri*, vol. 4, no. 1, pp. 443–448, 2016.
- [9] J. P. Holman, “Heat Transfer (10th Edition),” The McGraw-Hill Companies, 2010. .
- [10] L. Sadik Kakac, Hangtan, “Heat exchangers selection, design and construction,” *Fuel Processing Technology*. 1989.
- [11] I. Bizzy and R. Setiadi, “Studi Perhitungan Alat Penukar Kalpor Tipe Shell and Tube denga program Heat Transfer Research Inch (HTRi),” *Stud. Perhitungan Alat Penukar Kalpor Tipe Shell Tube denga Progr. Heat Transf. Res. Inch*, vol. 13, no. 1, p. 67, 2013.