



SKRIPSI – ME184834

**DESAIN PENUKAR KALOR SISTEM VENTILASI RUANG PALKA
KAPAL PELAYARAN RAKYAT**

Fabriansyah Aprilya Natha Yusufy

NRP 04211746000031

Dosen Pembimbing

Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.

Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR – (ME184834)

**DESAIN PENUKAR KALOR SISTEM VENTILASI RUANG
PALKA KAPAL PELAYARAN RAKYAT**

Fabriansyah Aprilya Natha Yusufy

NRP 04211746000031

Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.

Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BACHELOR THESIS – (ME184834)

**DESIGN HEAT EXCHANGER FOR AIR VENTILATION
CARGO HOLD SYSTEM PELAYARAN RAKYAT VESSEL**

Fabriansyah Aprilya Natha Yusufy

NRP 04211746000031

Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.

Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc.

DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN**DESAIN PENUKAR KALOR SISTEM VENTILASI
RUANG PALKA KAPAL PELAYARAN RAKYAT****TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjan Teknik

Pada

Bidang Studi *Marine Fluid and Machinery System (MMS)*

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FABRIANSYAH APRILYA NATHA YUSUFY

NRP. 04211746000031

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Alam Baharunsyah, M.Sc.
NIP. 196801291992031001
2. Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc.
NIP. 1976031020000310



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN**DESAIN PENUKAR KALOR SISTEM VENTILASI
RUANG PALKA KAPAL PELAYARAN RAKYAT****TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjan Teknik

Pada

Bidang Studi Marine Fluid and Machinery System (MMS)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FABRIANSYAH APRILYA NATHA YUSUFY

NRP. 04211746000031

Disetujui Oleh Kepala Departemen

Teknik Sistem Perkapalan



Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D

NIP/ 197903192008011008

**SURABAYA
JANUARI 2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DESAIN PENUKAR KALOR SISTEM VENTILASI RUANG PALKA KAPAL PELAYARAN RAKYAT

Nama Mahasiswa : Fabriansyah Aprilya Natha Yusufy
NRP : 0421174600031
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Alam Baheramsyah., M.Sc
2. Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Pelayaran rakyat (Pelra) pernah memegang peran sangat penting dalam sejarah angkutan laut nasional. Sampai awal tahun 2000-an armada Pelra berhasil mengangkut 35% muatan general cargo angkutan laut dalam negeri. Fungsi kapal pelayaran rakyat adalah untuk mengangkut beras, jagung, kedelai pupuk. Salah satu fasilitas yang ada di kapal pelayaran rakyat yaitu sistem ventilasi pada ruang muat. Sistem ventilasi pada ruang muat sendiri berfungsi sebagai sirkulasi udara pada ruang muat agar kualitas muatan dalam kondisi baik atau tidak busuk. Tujuan skripsi kali ini membuat kajian mengenai perancangan sistem *rotor dessicant* yang diharapkan nantinya alat ini dapat menjaga temperature dan kelembaban sesuai dengan komoditas yang dibawa dan dapat di aplikasikan di kapal pelayaran rakyat untuk menjaga komoditas-komoditas agar kondisinya tetap sesuai standart. Dari hasil percobaan didapatkan bahwa ketika *cooler* dengan debit paling besar $0.00002175 \text{ m}^3/\text{s}$ mampu menurunkan temperature hingga $1.28 \text{ }^\circ\text{C}$ untuk silica gel putih dan $1.3 \text{ }^\circ\text{C}$ untuk silica gel biru, Dan mampu menyerap panas paling besar pula yakni 117.6 J/s untuk silica gel biru dan 117.3 J/s untuk silica gel putih. Sedangkan untuk kebutuhan energi kalor yang berguna untuk mengeringkan silica gel agar sistem kerjanya tetap optimal dengan variasi temperature terbesar yakni $50 \text{ }^\circ\text{C}$ maka panas yang dibutuhkan adalah sebesar 8307 watt untuk silica gel putih dan 8470 watt untuk silica gel biru.

Kata kunci : Kapal Pelayaran Rakyat, Ventilasi Udara, Ruang Muat, Rotor Dessicant

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**DESIGN HEAT EXCHANGER FOR AIR VENTILATION CARGO
HOLD SYSTEM PELAYARAN RAKYAT VESSEL**

Student Name : Fabriansyah Aprilya Natha Yusufy
NRP : 04211746000031
Advisor : 1. Ir. Alam Baheramsyah., M.Sc
2. Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Pelayaran rakyat (Pelra) ever holds a very important role in the history of the national marine transportation. Until the early 2000s the fleet Pelra managed to transport the 35% load general cargo sea transport in the country. The function of the pelra vessel is to transport the rice, corn, soybean fertilizer. One of the existing facilities at the pelra vessel that ventilation systems on cargo space. The ventilation system in the cargo space itself serves as the air circulation in the cargo space so the quality of the cargo in good condition or not rotten. The purpose of this final project is making the study of the design of the system rotor dessicant which is expected later this tool can keep the temperature and humidity in accordance with the commodity carried and can be applied in a cruise ship of the people to keep commodity-a commodity so that it remains appropriate standard. From the experimental results that when the cooler with the biggest discharge $0.00002175 \text{ m}^3/\text{s}$ is capable of lowering the temperature up to $1.28 \text{ }^\circ\text{C}$ for white silica gel and $1.3 \text{ }^\circ\text{C}$ for blue silica gel, And able to absorb the heat most of 117.6 J/s for blue silica gel and 117.3 J/s for white silica gel . As for the need for kalor's energy which is useful for terrible silica gel so that the system works optimal with a variation of the largest temperature which is $50 \text{ }^\circ\text{C}$ then the heat needed is equal 8307 watts for white silica gel and 8470 watts for blue silica gel .

Keywords: *Pelayaran Rakyat Vessel, Air Ventilation, Cargo Hold, Rotor Dessicant*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**DESAIN PENUKAR KALOR SISTEM VENTILASI RUANG PALKA KAPAL PELAYARAN RAKYAT**”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dari Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak penulis juga menyadari bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat menjadi ilmu yang barokah bagi kita semua dan menjadi pedoman untuk penulisan selanjutnya.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
BAB 1	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	1
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Batasan Masalah	2
BAB II.....	3
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Sistem Pengkondisian Udara	3
2.1.1 Sistem Ventilasi	3
2.2. Perpindahan Panas.....	4
2.3. Asas Black	5
2.4. Alat Penukar Kalor	5
2.5. Mekanisme Perpindahan Kalor.....	6
2.5.1. Konduksi.....	6
2.5.2. Konveksi.....	6
2.5.3. Radiasi	7
2.6. Laju Aliran Massa	8
2.7. Validasi Perpindahan Panas Keseluruhan	8
2.8. Dessicant Dehumidifier	9

2.9. Komoditas	10
BAB III	11
METODOLOGI	11
3.1. Merencanakan Sistem Heat Exchanger.....	11
3.1.1. Cooler.....	11
3.1.2. Pompa, Valve, dan Reservoir.....	12
3.1.3. Heater	12
3.2. Pengambilan Data Sistem Heat Exchanger.....	13
3.3. Analisa Data	13
BAB IV	15
ANALISA DATA	15
4.1. Hasil Percobaan.....	15
4.2. Perhitungan Variasi Kapasitas	21
4.3. Perhitungan Rata-Rata Temperatur.....	22
4.4. Perhitungan Massa Jenis.....	26
4.5. Laju Aliran Massa	29
4.6. Perpindahan Panas Keseluruhan	30
4.7. Validasi Perpindahan Panas Keseluruhan Secara Teori	33
4.8. Perhitungan Beban Panas	36
4.9. Perhitungan Rata-Rata Temperatur Udara	37
4.10. Perhitungan Massa Jenis Udara	40
4.11. Perhitungan Beban Panas Keseluruhan.....	41
BAB V	45
KESIMPULAN	45
5.1. Kesimpulan.....	45
5.2. Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN.....	49

BIODATA PENULIS.....	69
----------------------	----

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar suhu dan kelembaban Penyimpanan Muatan.....	16
Tabel 4.1 keterangan Kecepatan, putaran, debit, temperature.....	15
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Pada silica gel putih performa terbaik $v_{nqt} = 1311$	16
Tabel 4.3 Hasil Pengujian pada silica gel biru performa terbaik $v_{nqt} = 1311$	18
Tabel 4.4 nilai rata-rata kapasitas, $t1_{rata - rata}$, $t2_{rata - rata}$, Δt rata-rata pada silica gel putih	23
Tabel 4.5 nilai rata-rata kapasitas, $t1_{rata - rata}$, $t2_{rata - rata}$, Δt rata-rata pada silica gel biru	25
Tabel 4.6 data hasil perhitungan pada silica gel putih	31
Tabel 4.7 data hasil perhitungan pada silica gel biru	32
Tabel 4.8 data hasil percobaan beban panas silica gel putih	36
Tabel 4.9 data hasil percobaan beban panas silica gel biru	37
Tabel 4.10 perbandingan daya yang dihasilkan silica gel putih dan biru	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 contoh proses heat exchanger	5
Gambar 2.2 contoh alat rotor dessicant	9
Gambar 3.1 cooler	11
Gambar 3.2 pompa, valve, reservoir.....	102
Gambar 3.3 heater	12
Gambar 3.4 flow chart tugas akhir	14
Gambar 4.1 sistem rotor dessicant keseluruhan.....	15
Gambar 4.2 grafik perbandingan debit dan ΔT pada silica gel putih	23
Gambar 4.3 grafik perbandingan debit dan ΔT pada silica gel biru	25
Gambar 4.4 grafik perbandingan kalor yang diserap dengan debit	33
Gambar 4.5 grafik perbandingan kalor yang dihasilkan heater dan temperature	42

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Pelayaran rakyat (Pelra) pernah memegang peran sangat penting dalam sejarah angkutan laut nasional. Sampai awal tahun 2000-an armada Pelra berhasil mengangkut 35% muatan general cargo angkutan laut dalam negeri. Seiring dengan perkembangan teknologi transportasi laut dan peningkatan terhadap penertiban illegal logging, armada pelra semakin terpuruk. Fungsi kapal pelayaran rakyat adalah untuk mengangkut beras, jagung, kedelai pupuk. Peran kapal pelayaran rakyat dalam dunia transportasi laut bisa dibilang cukup vital dimana transportasi ini menjaga kestabilan dan ketersediaan logistik terutama di daerah yang sulit dijangkau oleh transportasi darat.

Salah satu fasilitas yang ada di kapal pelayaran rakyat yaitu system ventilasi pada ruang muat. System ventilasi pada ruang muat sendiri berfungsi sebagai sirkulasi udara pada ruang muat agar kualitas muatan dalam kondisi baik atau tidak busuk. System ventilasi menggunakan udara luar pada ruang muat kapal pelayaran rakyat dianggap kurang efektif karena untuk muatan tertentu seperti jagung, kedelai, ataupun yang lainnya butuh kelembaban dan temperature udara tertentu untuk menjaga muatan tersebut agar kondisinya tetap sesuai standart. Dengan adanya permasalahan tersebut timbulah ide untuk menyediakan system pengkondisian udara pada ruang muat kapal pelayaran rakyat. Untuk dapat mengkondisikan udara harus mampu mensuplai udara pendingin dan kelembapan udara tertentu agar sesuai dengan komoditas-komoditas yang dibawa.

Mengacu pada permasalahan yang dihadapi di atas, maka skripsi kali ini akan mencoba membuat kajian mengenai perancangan sistem pengkondisian udara yang diharapkan nantinya alat ini dapat menjaga temperature dan kelembaban sesuai dengan komoditas yang dibawa dan dapat di aplikasikan di kapal pelayaran rakyat untuk menjaga komoditas-komoditas agar kondisinya tetap sesuai standart.

1.2. Rumusan Masalah

Dari uraian diatas maka rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merencanakan sistem pemanas dan pendingin pada *rotor desiccant* agar perencanaan sistem yang dibuat dapat optimal?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui keefektifan penggunaan *heater* dan *cooler* untuk pemenuhan udara pada kapal ruang muat pelayaran rakyat.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Kualitas muatan di dalam ruang muat akan tetap terjaga dengan baik karena udara yang disuplai menggunakan *rotor desiccant* tidak mengandung kadar air berlebih
2. Mengetahui korelasi antara instalasi sistem dan kondisi desain guna mendapatkan perencanaan sistem yang optimal sesuai kebutuhan dan hemat energi
3. Skripsi ini bisa menjadi acuan perhitungan kebutuhan dari sistem pengkondisian udara di ruang muat kapal pelayaran rakyat
4. Memotivasi pelaku usaha galangan kapal dalam negeri untuk mulai membuat desain sistem pengkondisian udara di kapal yang hemat energi.

1.5. Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu meluas maka diberikan batas-batas sebagai berikut :

1. Dalam perencanaan sistem ventilasi udara yang dibuat hanya digunakan untuk ruang muat kapal pelayaran rakyat
2. Peletakan *cooler* digunakan untuk menurunkan temperature udara suplai
3. Peletakan *heater* digunakan untuk mengurangi kelembaban pada *rotor desiccant*
4. Tidak melakukan analisa instalasi kelistrikan pada pemasangan heater dan cooler
5. Tidak menganalisa stabilitas kapal

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pengkondisian Udara

Sistem Pengkondisian Udara adalah suatu proses mendinginkan udara sehingga dapat mencapai temperatur dan kelembaban yang sesuai dengan yang dipersyaratkan terhadap kondisi udara suatu ruangan tertentu, mengatur aliran udara dan kebersihannya.

Ada beberapa pertimbangan dalam mendesain sistem pengkondisian untuk aplikasi di kapal. Sama halnya seperti untuk penggunaan sistem pengkondisian udara dalam darat, Tetapi terdapat pertimbangan khusus sebagai tambahan dalam mendesain sistem ini, dikarenakan kapal mempunyai ruangan yang terbatas dan berat yang harus sesuai agar kapal tidak tenggelam:

1. Terbatasnya ruang muat, berbeda dengan bangunan di darat, penambahan ruangan untuk keperluan sistem permesinan di kapal termasuk sistem ventilasi ini sulit untuk dilakukan
2. Kapal merupakan bangunan yang dinamis berbeda dengan bangunan yang statis. seluruh instalasi pada sistem pengkondisian udara yang terpasang di kapal harus bisa tetap beroperasi dengan baik dalam keadaan gerak kapal yang dinamis
3. sistem ventilasi yang terpasang memiliki tingkat keandalan yang tinggi karena kapal beroperasi di laut bebas.
4. Sistem pengkondisian udara pada kapal harus mampu menjaga muatan yang dibawa agar kualitasnya tetap baik.

2.1.1 Sistem Ventilasi

Sistem ventilasi udara adalah bagian dari ruangan yang berfungsi sebagai saluran udara dimana udara dapat mengalir dengan baik dari dan ke dalam ruangan. Dengan demikian, udara yang ada di dalam ruangan akan tergantikan secara terus menerus oleh udara dari luar melalui ventilasi tersebut. Sistem ventilasi udara pada kapal mempunyai fungsi untuk mempertahankan temperature dan kelembaban udara (*humidity*) ataupun mengubahnya sesuai dengan yang diperlukan didalam ruangan kapal, dengan cara mengatur aliran udara ke luar atau masuk ruangan kapal guna melakukan proses penggantian udara yang telah kotor dengan udara segar dan mengatur tingkatan temperatur, tekanan dan komposisi kimia udara di dalam ruangan kapal. Dengan terjadinya proses tersebut akan dapat memenuhi tujuan ventilasi dalam kapal yaitu :

- Untuk menjaga udara di dalam ruangan di kapal selalu bersih atau segar sehingga dapat dirasakan nyaman dan sesuai kebutuhan

- Pengaruh kerusakan bagian-bagian kapal dan pembusukan muatan yang ditimbulkan oleh karena terlalu besarnya kelembaban dapat dibatasi.

2.2. Perpindahan Panas

Panas atau kalor adalah salah satu bentuk energi yang dapat dipindahkan dari suatu tempat ke tempat lain, tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan sama sekali. Suhu adalah ukuran rata-rata energi kinetik partikel dalam suatu benda. Panas yang diberikan dalam sebuah benda dapat digunakan untuk 2 cara, yaitu untuk merubah wujud benda atau untuk menaikkan suhu benda itu. Besar panas yang diberikan pada sebuah benda digunakan untuk menaikkan suhu tergantung pada :

- Massa benda
- Kalor jenis benda
- Perbedaan suhu kedua benda

Secara matematis persamaan dapat ditulis dengan :

$$q = m \times C \times \Delta t \quad [2-1]$$

Dalam suatu proses, panas dapat mengakibatkan terjadinya kenaikan suhu suatu zat dan atau perubahan tekanan, reaksi kimia dan kelistrikan. Proses terjadinya perpindahan panas dapat dilakukan secara langsung, yaitu fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin tanpa adanya pemisah dan secara tidak langsung, yaitu bila diantara fluida panas dan fluida dingin tidak berhubungan langsung tetapi dipisahkan oleh sekat-sekat pemisah. (Kern,1983). Menurut Holman,1995 mekanisme perpindahan panas terdiri atas :

- a. Perpindahan Panas Secara Konduksi, merupakan perpindahan panas antara molekul-molekul yang saling berdekatan antar yang satu dengan yang lainnya dan tidak diikuti oleh perpindahan molekul-molekul tersebut secara fisik.
- b. Perpindahan Panas Secara Konveksi, merupakan perpindahan panas dari suatu zat ke zat yang lain disertai dengan gerakan partikel atau zat tersebut secara fisik.
- c. Perpindahan Panas Secara Radiasi, merupakan perpindahan panas tanpa melalui media (tanpa melalui molekul). Suatu energi dapat dihantarkan dari suatu tempat ke tempat lainnya (dari benda panas ke benda yang dingin) dengan pancaran gelombang elektromagnetik dimana tenaga elektromagnetik ini akan berubah menjadi panas jika terserap oleh benda yang lain.

Kemampuan untuk menerima panas dipengaruhi oleh :

1. Koefisien *overall* perpindahan panas

Menyatakan mudah atau tidaknya panas berpindah dari fluida panas ke fluida dingin dan juga menyatakan aliran panas menyeluruh sebagai gabungan proses konduksi dan konveksi.

2. Selisih temperature rata-rata logaritmik (LMTD)

LMTD merupakan perbedaan temperature yang dipukul rata-rata setiap bagian *Heat Exchanger* karena perbedaan temperature tiap bagian tidak sama.

2.3. Asas Black

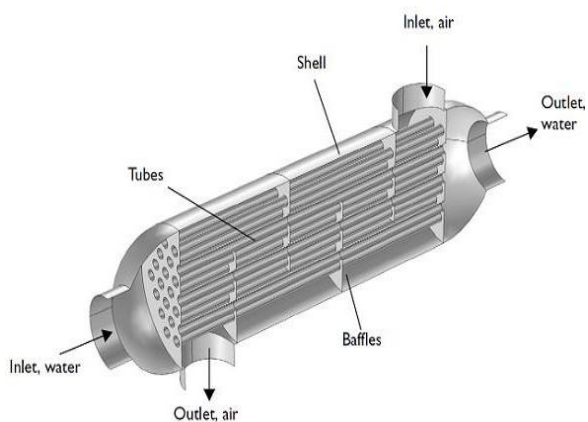
Ketika suatu benda melepas panas ke sekitarnya, $Q < 0$. Ketika benda menyerap panas dari sekitarnya, $Q > 0$. Jumlah panas, kecepatan penyaluran panas, dan fluks panas semua disimbolkan dengan perbedaan permutasi huruf Q . Mereka biasanya diganti dalam konteks yang berbeda. Jumlah panas dinotasikan sebagai Q , dan diukur dalam joule dalam satuan SI.

Hukum asas black berbunyi “*Jumlah kalor yang dilepas oleh materi yang bersuhu lebih tinggi akan sama dengan jumlah kalor yang diterima oleh materi yang suhunya lebih rendah*” atau disederhanakan sebagai kalor yang dilepas akan sama dengan kalor yang diterima.

$$Q_{diterima} = Q_{dilepaskan}$$

2.4. Alat Penukar Kalor

Penukar kalor atau dalam industri kimia populer dengan istilah bahasa Inggrisnya, heat exchanger (HE), adalah suatu alat yang memungkinkan perpindahan panas dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas dipakai uap lewat panas (super heated steam) dan air biasa sebagai air pendingin (cooling water). Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung begitu saja.



Gambar 2.1 contoh proses Heat Exchanger

2.5. Mekanisme Perpindahan Kalor

Menurut Holman (1986, p.1) perpindahan kalor (heat transfer) ialah ilmu yang mempelajari perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material tersebut.

2.5.1. Konduksi

Perpindahan kalor melalui suatu bahan padat disebut dengan konduksi. Perpindahan kalor ini menyangkut pertukaran energi pada tingkat molekuler.

Stoecker (1982, p.24) menyatakan bahwa pengamatan gejala fisika dan serentetan pemikiran telah menghasilkan persamaan laju aliran kalor untuk konduksi. Kepadatan aliran (flux) energi perpindahan kalor secara konduksi di sebuah batangan padat, sebanding dengan beda suhu luas penampang, serta berbanding terbalik dengan panjangnya.

$$q = -kA \frac{\Delta T}{L} \quad [2-2]$$

Dengan

A = luas penampang, m^2

ΔT = beda suhu, K

L = panjang, m

k = daya hantar (konduktivitas) termal, W/m.k

Daya hantar termal merupakan suatu karakteristik dari bahan, dan perbandingan daya hantar termal dengan panjang (k/L) disebut hantaran (konduktansi)

Daya hantar (konduktivitas) termal dan laju perpindahan kalor konduktif ditentukan oleh struktur molekul bahan. Semakin rapat dan rapinya struktur molekul – molekul, yang seperti dimiliki pada logam, maka akan semakin epat perpindahan energinya dibandingkan dengan dengan susunan yang acak dan jarang, yang biasanya terdapat pada bahan non logam.

2.5.2. Konveksi

Bila sebuah fluida lewat diatas sebuah permukaan padat panas, maka tenaga akan dipindahkan kepada fluida dari dinding dari proses hantaran. Energi ini kemudia di angkut, atau dikonveksikan (convected), ke hilir oleh fluida, dan di difusikan melalui

fluida oleh hantaran di dalam fluida tersebut. Jenis proses perpindahan energi ini disebut perpindahan energi secara konveksi (convection heat transfer) (Reynolds: 1970)

Sedangkan Stoecker (1982, p.24) menyatakan bahwa perpindahan kalor konveksi bergantung pada konduksi antara permukaan benda padat dengan fluida terdekat yang bergerak. Jadi masing-masing mekanisme perpindahan kalor berbeda antara satu dengan yang lainnya.

$$q = h_c A (T_s - T_f) \quad [2-3]$$

Dengan

h_c = koefisiensi konveksi, $W/m^2 \cdot K$

T_s = suhu permukaan, $^{\circ}C$

T_f = suhu fluida, $^{\circ}C$

2.5.3. Radiasi

Berbeda dengan mekanisme perpindahan panas secara konduksi dan konveksi, dimana perpindahan kalor tersebut terjadi melalui material penghantar, perpindahan secara radiasi ini berpindah melalui daerah-daerah hampa. Dimana mekanisme disini adalah sinaran atau radiasi elektromagnetik. Radiasi adalah proses yang membawa energi dengan jalan pelompatan foton dari suatu permukaan ke permukaan lainnya.

Menurut Stoecker (1982, p.23), radiasi dapat memindahkan energi menyebrangi ruang vakum dan tidak bergantung pada media perantara untuk menghubungkan dua permukaan.

Foton-foton selain diradiasikan, ketika foton-foton mencapai permukaan juga diserap, dipantulkan atau diteruskan melalui permukaan.

Menurut J.P Holman (1986, p.13), radiator (penyinar) ideal, atau benda hitam (blackbody), memancarkan energi-energi dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat suhu absolute benda itu berbanding langsung dengan luas permukaan. Jadi,

$$q_{pancaran} = \sigma AT^4 \quad [2-4]$$

Dimana $\sigma = 5.669 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$

Persamaan tersebut hanya berlaku pada benda hitam, yang disebut hukum Stean – Boltzmann tentang radiasi termal. Sedangkan untuk jenis permukaan yang lain, seperti

yang di cat mengkilap atau plat logam yang dipoles tidak memancarkan energi sebanyak benda hitam, tetapi jumlah radiasinya yang dipancarkan benda-benda itu masih proporsional pada T^4 .

Holman juga menjelaskan (1986, p.13) bahwa, untuk memperhitungkan sifat “kelabu” permukaan yang demikian, kita tampilkan suatu faktor lain ke dalam persamaan, yang disebut emisivitas ϵ atau kepancaran (emissivity), yang menghubungkan sinar permukaan “kelabu” dengan permukaan benda yang hitam sempurna. Disamping itu, diperhitungkan kenyataan bahwa radiasi dari suatu permukaan tidak seluruhnya sampai ke permukaan lain, karena radiasi elektromagnetik berjalan menurut garis lurus dan sebagian hilang ke lingkungan. Untuk memperhitungkan kedua situasi itu dimasukkan dua faktor persamaan baru ke dalam persamaan, sehingga :

$$F_{\epsilon} F_G \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad [2-5]$$

Dengan

F_{ϵ} = fungsi emisivitas

F_G = fungsi factor pandangan

2.6. Laju Aliran Massa

Laju aliran (m) dapat dicari dengan perkalian antara massa jenis (ρ) dikalikan dengan debit (Q). rumus ini nantinya akan digunakan untuk mencari perpindahan kalor secara keseluruhan.

$$m = Q \times \rho \quad [2-5]$$

Dimana :

m = laju aliran massa di dalam pipa (m^3/kg)

Q = debit (m^3/s)

ρ = massa jenis udara (kg/m^3)

2.7. Validasi Perpindahan Panas Keseluruhan

Nilai perpindahan panas keseluruhan secara teoritis berguna untuk membandingkan antara kondisi nyata dengan rumus, yang bertujuan untuk mengetahui error yang terjadi antara perhitungan berdasarkan data alat dengan rumus teoritis.

$$q = UAF\Delta T_{lm,CF} \quad [2-6]$$

dimana :

q = perpindahan panas secara keseluruhan (j/s)

U = overall heat transfer coefficient (w/m^2K)

A = luas penampang (m^2)

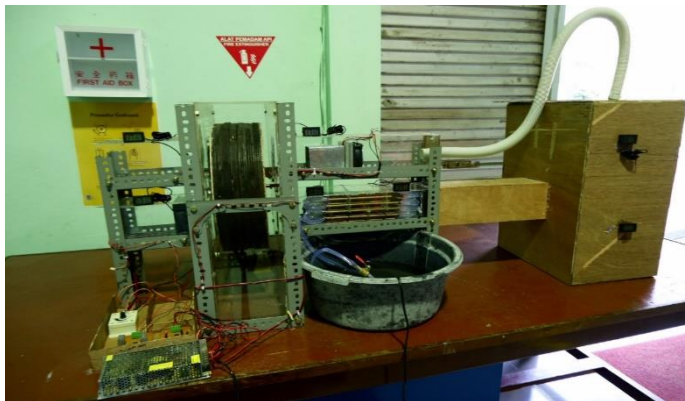
F = factor koreksi

$\Delta T_{lm,CF}$ = perbedaan suhu fluida panas dan dingin ($^{\circ}K$)

2.8. Dessicant Dehumidifier

Alat ini berfungsi untuk mengurangi kelembaban udara dengan cara menciptakan suatu permukaan atau daerah dengan tekanan uap yang rendah agar nantinya muatan yang ada di dalam daerah ini terjaga kelembabannya atau menjaga muatan di dalamnya agar tidak busuk. Dessiccant sendiri merupakan salah satu zat yang dapat menyerap kelembaban dengan cara menyimpan air pada permukaan atau kapiler dengan tetap mempertahankan keberadaan molekul air. Zat yang paling umum digunakan adalah silica gel yang merupakan bentuk dari silica dioksida (SiO_2) (Lewis G. Harriman, 2002). Cara kerja alat ini yaitu udara dari luar melewati rotor dessiccant akibatnya kelembaban udara berkurang serta temperature menjadi naik kemudian udara masuk melewati cooler akibatnya temperature menjadi turun dan masuk ke dalam muatan. Di dalam muatan tersebut perlu adanya sirkulasi udara agar udara tidak mengalami titik jenuh, udara disirkulasikan kembali menuju heater agar udara yang tadinya memiliki temperature rendah menjadi tinggi kemudian udara masuk lagi ke dalam rotor dessiccant tujuan udara yang telah dipanaskan untuk masuk ke heater adalah untuk mengeringkan dessiccant lalu udara keluar ke permukaan dan bersirkulasi lagi secara terus-menerus.

gambar dibawah ini menunjukkan bagaimana sebuah sistem pengkondisian udara yang digunakan pada ruang muat kapal pelayaran rakyat. Dimana udara dari luar dengan suhu dan kelembaban nya terlebih dahulu dikondisikan dengan menggunakan



Gambar 2.2 contoh alat rotor dessiccant

dessican rotor, setelah kelembaban terkondisikan maka suhu akan dikondisikan menggunakan mesin pendingin. Diharapkan bahwa dengan dikondisikan kelembaban terlebih dahulu maka akan dapat mengurangi kerja dari mesin pendingin.

2.9. Komoditas

Kebutuhan akan sandang pangan memang tidak bisa dilepaskan dalam kebutuhan sehari hari manusia, untuk itu perlu diperhitungkan dalam membuat suatu tempat penyimpanan atau pengkondisian ruangan, terlebih lagi tahu tentang suhu dan kelembaban berapa yang ideal untuk bahan makanan tertentu.

Tabel 2.1 Standar suhu dan kelembaban Relatif Penyimpanan Muatan Bahan Pokok (<https://www.cargohandbook.com>)

Tabel 2.1 Standar suhu dan kelembaban Penyimpanan Muatan

No	Bahan Pokok	Temperatur Maksimal (°C)	RH Maksimal (%)
1	Jagung	29	70-75
2	garam	37	55-65
3	kacang	29-31	65
4	beras	29-32	70
5	kopi	37	50-60
6	cabe		60-70

BAB III METODOLOGI

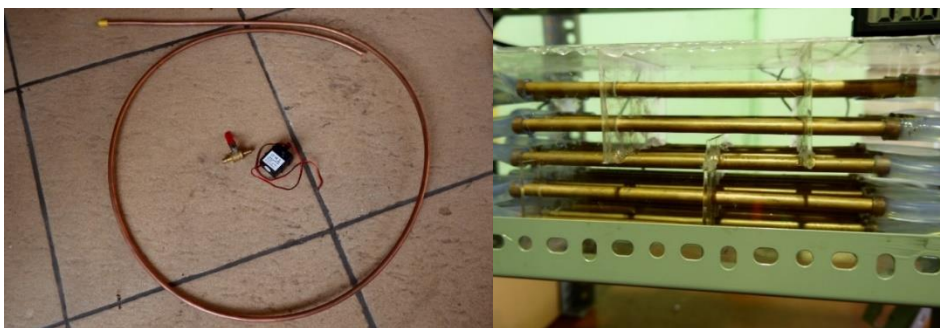
Dalam membantu pembuatan skripsi ini diperlukan suatu urutan metode yang menjadi kerangka acuan dalam penyelesaian tugas akhir ini. Metodologi penulisan skripsi ini berisi tahapan-tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan dalam pengerjaan skripsi ini. Dimulai dari perumusan masalah sampai nantinya didapat kesimpulan atas pengerjaan skripsi ini. Metodologi yang digunakan dalam skripsi ini adalah *experiment*, ada tiga tahapan utama dalam melakukan *eksperiment* ini yang pertama adalah dengan merencanakan sistem *heat exchanger* dimana sistem ini terdiri dari *heater* dan *cooler*, tahap kedua adalah pengambilan data sistem *heat exchanger*, dan tahap terakhir adalah dengan melakukan analisa terhadap sistem *heat exchanger*. Untuk lebih jelasnya akan dijabarkan sebagai berikut :

3.1. Merencanakan Sistem Heat Exchanger

Pada perancangan sistem heat exchanger ini terdapat dua komponen yaitu cooler dan heater dimana fungsi cooler sendiri pada percobaan ini adalah mendinginkan udara setelah melewati rotor dessicant sedangkan fungsi heater adalah meregenerasi silica gel akibat pada proses sebelumnya telah menyerap udara lembab. Untuk sistem *cooler* sendiri menggunakan fluida air dengan menggunakan pipa tembaga dengan diameter 7 mm sebanyak 25 pipa dan menggunakan pompa dengan debit *maximal* 0.00002175 m³/s. Untuk sistem *heater* disini menggunakan heatsink dengan keluaran *maximal* suhu 50 °C dan menggunakan ducting dimensi 12 cm x 12 cm serta dengan kecepatan angin 1.8 m/s.

3.1.1. Cooler

terbuat dari pipa tembaga dengan diameter sebesar 7 mm dipotong sepanjang 0,21 m sebanyak 25 pipa, kemudian pipa tersebut disusun sejajar dengan berbentuk persegi menyesuaikan dimensi dari *ducting*, setelah itu diberikan laluan dari akrilik sebagai penyearah aliran udara, sehingga udara mampu melewati dan mengenai setiap bagian dari selongsong tersebut.



Gambar 3.1 cooler

3.1.2. Pompa, Valve, dan Reservoir

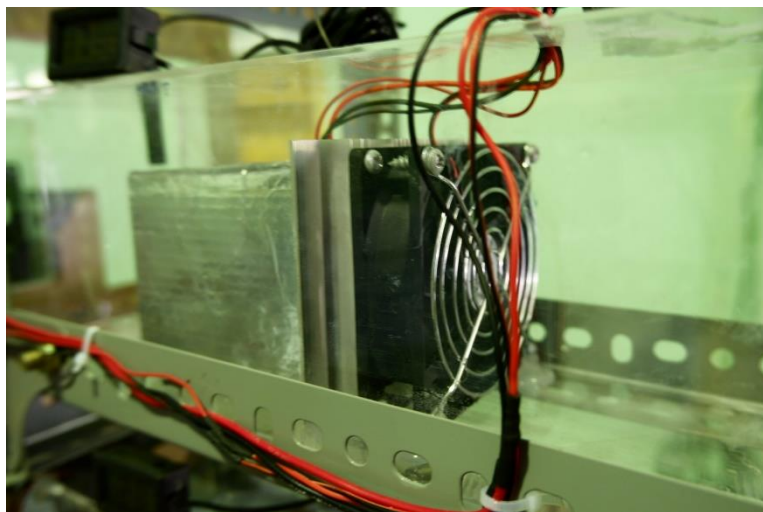
Pompa yang digunakan adalah tipe submersible/ pompa aquarium sebagai media yang mengalirkan air dari reservoir ke pipa tembaga yang digunakan sebagai cooler. Valve berguna untuk mengatur kapasitas air yang disalurkan. Pada percobaan ini digunakan 3 variasi bukaan katup (bukaan penuh, , bukaan $\frac{1}{2}$, bukaan $\frac{1}{4}$)



Gambar 3.2 pompa, valve, reservoir

3.1.3. Heater

Heater yang digunakan adalah pemanas elektrik berupa heatsink yang ditempatkan di sisi reaktivasi ducting yang berguna untuk meregenerasi silica gel agar tidak mengalami fase jenuh, dalam percobaan ini digunakan 3 variasi temperatur reaktivasi yakni (40°C, 45°C, 50°C)



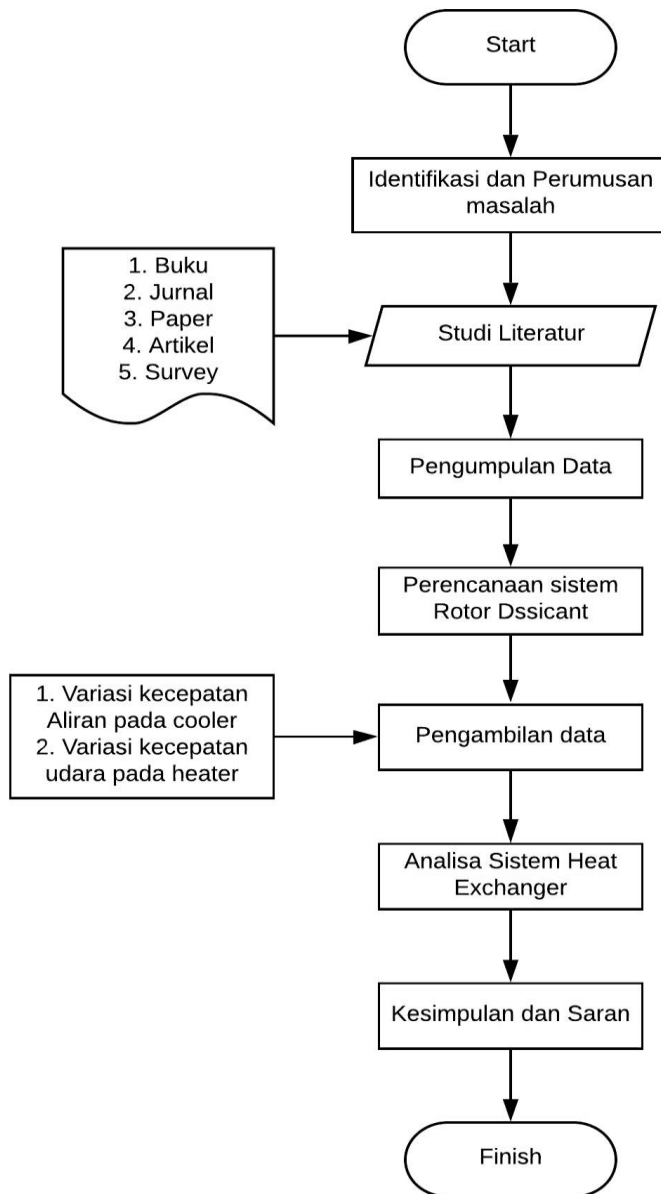
Gambar 3.3 heater

3.2. Pengambilan Data Sistem Heat Exchanger

Pada tahap pengambilan data untuk sistem cooler yaitu dengan cara memvariasikan debit pada pompa dengan menggunakan valve baik pada percobaan silica gel putih maupun silica gel biru. Pada pengambilan data ini terdapat variasi tiga debit, untuk debit maximum yakni $0.00002175 \text{ m}^3/\text{s}$, debit medium $0.00000725 \text{ m}^3/\text{s}$, dan debit minimum sebesar $0.00000435 \text{ m}^3/\text{s}$. Tujuan memvariasikan debit ini adalah untuk mengetahui pengaruh aliran fluida terhadap udara yang dilewatkan melewati sistem cooler. Untuk pengambilan data pada sistem heater terdapat tiga variasi suhu yang pertama suhu maximum sebesar $50 \text{ }^\circ\text{C}$, suhu medium sebesar $45 \text{ }^\circ\text{C}$, dan suhu minimum sebesar $40 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan debit tetap yakni sebesar $0.02592 \text{ m}^3/\text{s}$. Dengan cara menggunakan alat control yang bernama potensiometer heater dapat divariasikan mulai dari suhu tinggi sampai suhu rendah, dengan tujuan mengetahui berapa energi yang dikeluarkan heater untuk mampu meregenerasi silica gel putih maupun biru sehingga kerja silica gel akan kembali optimal pada proses awal.

3.3. Analisa Data

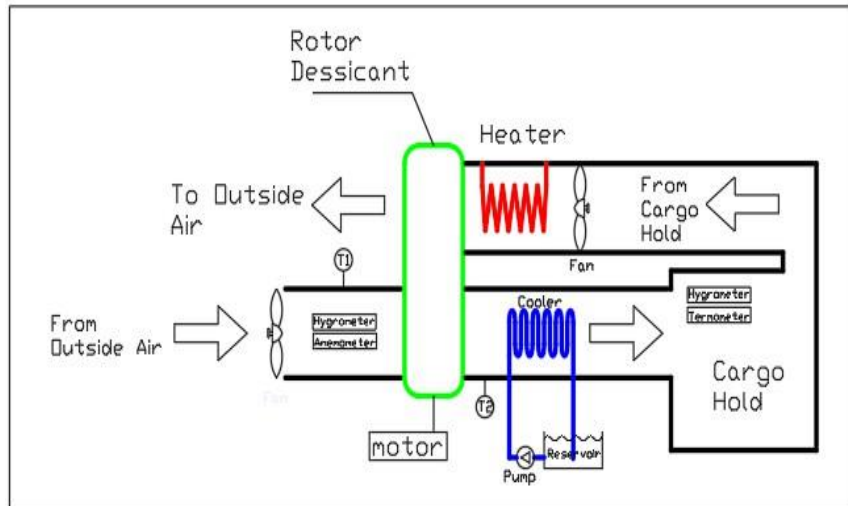
Setelah melakukan pengambilan data pada sistem cooler dan heater maka langkah selanjutnya adalah menganalisa hasil data tersebut. Untuk sistem cooler yang perlu dianalisa adalah perbandingan sebelum udara melewati cooler dan setelah melewati cooler disitu dapat diketahui berapa panas yang berhasil diserap oleh cooler baik dengan silica gel putih ataupun biru. selain itu terdapat analisa terkait pengaruh debit terhadap panas yang diserap dengan memvariasikan debit pada pompa maka besar kecilnya kalor yang diserap akan berpengaruh pula. Untuk analisa pada sistem heater yakni variasi suhu terhadap energi panas yang dikeluarkan heater tujuannya adalah untuk mengetahui berapa panas yang yang dikeluarkan oleh heater untuk mampu mengeringkan silica gel putih maupun silica gel biru.



Gambar 3.4 flow chart Tugas Akhir

BAB IV ANALISA DATA

4.1. Hasil Percobaan



Gambar 4.1 sistem rotor dessicant keseluruhan

Data berikut diperoleh dari hasil percobaan dengan menggunakan silica gel putih dan silica gel biru dengan memvariasikan kecepatan angin (v), putaran rotor (n), debit (Q), dan temperature (t). Terdapat pula keterangan untuk kecepatan, putaran rotor, debit, temperature untuk maximum (1), medium (2), dan minimum (3) sehingga memperoleh tiga data terbaik dengan waktu tiap percobaan 0 - 2400 detik. Dengan keterangan sebagai berikut :

Tabel 4.1 keterangan Kecepatan, putaran, debit, temperature

Keterangan	V (m/s)	n (rpm)	Q (m ³ /s)	T (°C)
maximum	4.2	0.0033	0.00002175	50
medium	1.8	0.0018	0.00000725	45
minimum	0.8	0.0013	0.00000435	40

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Pada silica gel putih performa terbaik vnqt = 1311

Inlet Air Channel					
No	Time (s)	Before Wheel		After Wheel	
		T(°C)	Humidity (%rH)	T(°C)	Humidity (%rH)
1	0	32.3	73	33.3	56
2	60	32.2	73	34.1	57
3	120	32.2	73	34.9	56
4	180	32.1	73	35.1	55
5	240	32.1	74	35.3	55
6	300	32.1	74	35.3	55
7	360	32.1	74	35.3	55
8	420	32.2	74	35.4	55
9	480	32.2	74	35.4	55
10	540	32.2	74	35.5	55
11	600	32.2	74	35.5	55
12	660	32.2	74	35.5	55
13	720	32.2	74	35.5	55
14	780	32.3	74	35.5	55
15	840	32.3	74	35.5	55
16	900	32.2	74	35.5	55
17	960	32.2	74	35.5	55
18	1020	32.2	74	35.5	55
19	1080	32.1	75	35.5	55
20	1140	32.1	75	35.5	55
21	1200	32.1	75	35.5	55
22	1260	32.1	75	35.5	55
23	1320	32	75	35.4	55
24	1380	32.1	75	35.3	56
25	1440	32	75	35.3	56
26	1500	32.1	75	35.2	56
27	1560	32.1	76	35.1	56
28	1620	32.1	76	35.1	56
29	1680	32.1	75	35.1	56
30	1740	32.1	75	35	56
31	1800	32.1	75	35	56
32	1860	32.1	75	35	56
33	1920	32.1	76	35.3	56

Inlet Air Channel					
		Before Wheel		After Wheel	
34	1980	32.1	76	35.3	56
35	2040	32	77	35.3	56
36	2100	32	77	35.3	56
37	2160	32	77	35.2	56
38	2220	32.1	77	35.2	56
39	2280	32	78	35.2	55
40	2340	32.1	78	35.2	55
41	2400	32.2	78	35.3	55

Heat Exchanger	Regeneration Air Channel			
After Cooler	Before Wheel		After Wheel	
T (°C)	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)
31.8	48.9	39	33.4	61
33.1	47.8	39	33.3	61
33.7	46.3	41	33.2	61
33.8	45.1	43	33.2	61
34.1	44.1	45	33.1	62
34.2	43.3	47	33.1	62
33.9	42.8	49	33.1	62
33.9	42.3	49	33.1	62
34.4	41.9	50	33.1	62
34.2	41.7	51	33.1	62
34.3	41.3	51	33.1	62
34.4	41.1	52	33.1	62
34.1	40.9	53	33.1	62
34.4	40.7	54	33.1	63
34.2	40.5	54	33.1	63
34.2	40.5	55	33.1	63
34.1	40.3	55	33.1	63
34.4	40.1	55	33.1	63
34.2	40	56	33	63
34.2	40	56	33	64
34.1	40	56	33	64
34.1	39.9	56	33	64
34.2	39.9	56	33	64

Heat Exchanger	Regeneration Air Channel			
	After Cooler	Before Wheel		After Wheel
34	39.9	56	33	64
34	39.9	56	33	64
34	39.8	57	33	64
33.6	39.7	57	33	65
33.6	39.7	57	33.1	65
33.9	39.7	57	33.1	64
33.8	39.7	57	33.1	64
33.8	39.7	57	33.1	64
33.7	39.7	57	33.1	64
34.2	39.5	58	33.1	64
34.2	39.9	58	33	64
33.9	39.9	58	33	64
34	39.4	58	32.9	65
33.8	39.5	57	32.9	65
34.1	39.5	57	32.9	65
34.1	39.5	57	32.9	65
34	39.5	58	33	65
34.2	39.8	58	33.2	66

Tabel 4.3 Hasil Pengujian pada silica gel biru performa terbaik vnqt = 1311

Inlet Air Channel					
No	Time (s)	Before Wheel		After Wheel	
		T(°C)	Humidity (%rH)	T(°C)	Humidity (%rH)
1	0	32.3	74	34.4	61
2	60	32.3	74	34.5	59
3	120	32.3	75	34.5	59
4	180	32.3	74	34.5	59
5	240	32.2	74	34.6	58
6	300	32.2	74	34.5	59
7	360	32.2	75	34.8	58
8	420	32.2	75	34.7	58
9	480	32.2	76	34.4	58
10	540	32.1	75	34.8	59
11	600	32.2	76	34.9	59
12	660	32.2	76	35	58

Inlet Air Channel					
		Before Wheel		After Wheel	
13	720	32.2	76	35.1	59
14	780	32.2	75	35.1	58
15	840	32.2	76	35.1	58
16	900	32.2	76	35.1	58
17	960	32.2	76	35.3	58
18	1020	32.3	76	35.3	58
19	1080	32.1	76	35.3	59
20	1140	32.2	76	35.1	59
21	1200	32.2	76	35.1	57
22	1260	32.3	76	35.1	58
23	1320	32.2	77	35.2	57
24	1380	32.3	76	35.3	57
25	1440	32.2	77	35.3	57
26	1500	32.2	77	35.1	58
27	1560	32.3	77	35.2	58
28	1620	32.3	76	35.2	57
29	1680	32.2	77	35.4	58
30	1740	32.2	76	35.5	59
31	1800	32.2	77	35.5	59
32	1860	32.2	77	35.5	59
33	1920	32.2	77	35.5	59
34	1980	32.3	77	35.5	59
35	2040	32.1	77	35.5	59
36	2100	32.3	77	35.3	60
37	2160	32.3	77	35.4	59
38	2220	32.2	77	35.3	60
39	2280	32.2	78	35.3	60
40	2340	32.2	78	35.3	59
41	2400	32.2	78	35.3	59

Heat Exchanger	Regeneration Air Channel			
	After Cooler	Before Wheel		After Wheel
T (°C)	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)
32.9	53.5	34	32.5	71
33	49.3	36	32.9	68
33.4	47	41	33	67

Heat Exchanger	Regeneration Air Channel			
	After Cooler	Before Wheel		After Wheel
33.4	45.4	45	33.2	67
33.5	44.3	47	33.2	66
33.5	43.7	49	33.2	66
33.7	43	51	33.2	66
33.7	42.5	52	33.2	66
33.2	42	53	33.2	66
33.5	41.1	54	33.2	66
33.5	41.3	54	33.2	66
34	41.3	52	33.2	66
33.9	40.9	51	33.2	66
33.8	40.3	52	33.2	66
33.7	40.2	52	33.2	66
33.7	40.1	52	33.2	66
33.8	40.3	53	33.2	66
34	40.3	53	33.2	66
33.9	40.4	52	33.2	66
33.6	40.5	52	33.2	66
33.8	40.8	52	33.2	66
33.9	40.8	51	33.2	66
34	40.9	53	33.1	66
34	40.7	54	33.1	66
33.9	40.5	54	33.1	66
33.9	40.5	55	33.1	66
33.9	40.3	55	33.1	66
33.9	40.1	55	33.1	66
34	41	56	33.1	66
34	40.7	56	33.1	66
34.1	40.8	58	33	66
34.7	40.8	58	33	66
34.7	40.7	57	33	66
34.6	40.5	58	33	66
34.1	40.1	59	33	66
33.8	39.9	59	33	66
34.1	39.8	58	33.1	66
33.9	39.9	59	33.2	66

Heat Exchanger	Regeneration Air Channel			
	After Cooler	Before Wheel		After Wheel
33.8	39.7	58	33.2	66
34.2	39.8	58	33.2	66
34.2	39.8	58	33.2	66

4.2. Perhitungan Variasi Kapasitas

Kapasitas perlu diketahui dikarenakan kapasitas berfungsi untuk mengetahui laju aliran massa pada pipa. Kapasitas diperoleh dengan cara membagi volume sebesar 174.85 cm^3 dengan waktu yang dibutuhkan fluida (air) untuk memenuhi volume sebesar 174.85 cm^3 .

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q = kapasitas m^3/s

V = volume (m^3)

t = waktu yang dibutuhkan untuk mengisi 174.85 cm^3

Dari data pengujian yang telah diperoleh didapat waktu untuk tiap variasi bukaan katup :

Fully open : 8 detik

$\frac{1}{2}$: 24 detik

$\frac{1}{4}$: 40 detik

Maka nilai Q untuk tiap bukaan katup adalah :

Fully open :

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{0.000174 \text{ m}^3}{8\text{s}} = 0.00002175 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Bukaan katup $\frac{1}{2}$:

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{0.000174 \text{ m}^3}{24\text{s}} = 0.00000725 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Bukaan katup 1/4 :

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{0.000174 \text{ m}^3}{40\text{s}} = 0.00000435 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

4.3. Perhitungan Rata-Rata Temperatur

Dari seluruh data temperature after wheel dan after cooler baik silica gel putih ataupun biru dapat ditentukan nilai t_2 dan t_1 serta Δt . Setelah menentukan nilai t_2 dan t_1 serta Δt selanjutnya mencari nilai rata-rata t_2 dan t_1 serta Δt dari masing-masing variasi bukaan katup.

➤ Rata-rata t_2 dan t_1 serta Δt pada tabel percobaan 4.1 silica gel putih dengan

$$Q = 0.00002175 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$t_2 = \frac{33.3+34.1+34.9+35.1+35.3+ \dots\dots+35.3}{41}$$

$$= 35.2292 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \frac{31.8+33.1+33.7+33.8+34.1+ \dots\dots+34.2}{41}$$

$$= 33.973 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{1.5+1.0+1.2+1.3+1.2+ \dots\dots+1.1}{41}$$

$$= 1.2875 \text{ }^\circ\text{C}$$

➤ Rata-rata t_2 dan t_1 serta Δt pada tabel percobaan 4.1 silica gel putih dengan

$$Q = 0.00000725 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$t_2 = \frac{33.3+34.1+34.9+35.1+35.3+ \dots\dots+35.3}{41}$$

$$= 35.2292 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \frac{32.5+33.3+34.2+34.5+34.7+ \dots\dots+34.4}{41}$$

$$= 34.43 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{0.8+0.8+0.7+0.6+0.6+ \dots\dots\dots+0.9}{41}$$

$$= 0.810 \text{ } ^\circ\text{C}$$

➤ Rata-rata t_2 dan t_1 serta Δt pada tabel percobaan 4.1 silica gel putih dengan

$$Q = 0.00000435 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$t_2 = \frac{33.3+34.1+34.9+35.1+35.3+ \dots\dots\dots+35.23}{41}$$

$$= 35.2292 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \frac{33.1+33.8+34.6+35+34.9+ \dots\dots\dots+35}{41}$$

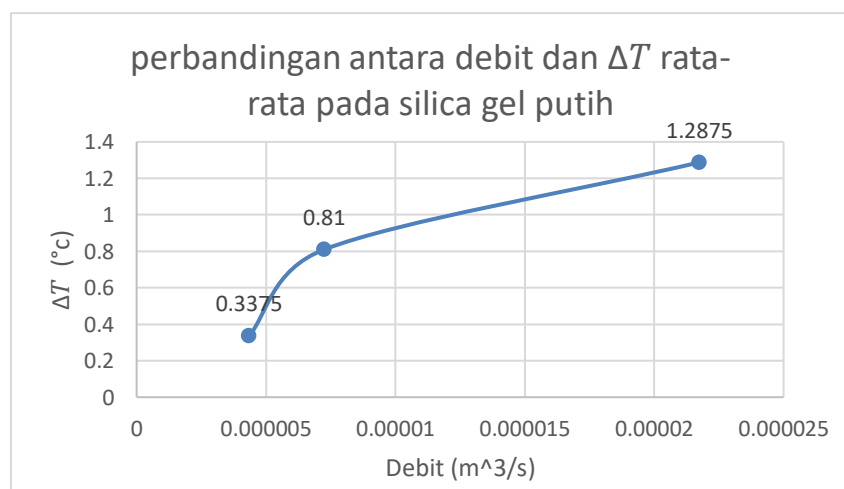
$$= 34.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{0.2+0.3+0.3+0.1+0.4+ \dots\dots\dots+0.3}{41}$$

$$= 0.3375 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel 4.4 nilai rata-rata kapasitas, $t_{1\text{rata-rata}}$, $t_{2\text{rata-rata}}$, Δt rata-rata pada silica gel putih

Kapasitas (m^3/s)	$t_{1\text{rata-rata}}$ ($^\circ\text{C}$)	$t_{2\text{rata-rata}}$ ($^\circ\text{C}$)	$\Delta t_{\text{rata-rata}}$ ($^\circ\text{C}$)
0.00002175	33.973	35.2292	1.2875
0.00000725	34.43	35.2292	0.810
0.00000435	34.9	35.2292	0.3375



Gambar 4.2 grafik perbandingan debit dan ΔT pada silica gel putih

Dari grafik di atas menunjukkan perbandingan debit terhadap ΔT pada silica gel putih. Dapat kita simpulkan bahwa semakin besar debit air maka semakin besar pula perbedaan suhu antara after wheel dengan after cooler. Terlihat dari grafik silica gel putih di atas ketika debit sebesar $0.00002175 \text{ m}^3/\text{s}$ maka ΔT suhu antara after wheel dengan after cooler sebesar $1.2875 \text{ }^\circ\text{C}$, begitupun sebaliknya semakin kecil debit yang dihasilkan maka semakin kecil pula ΔT .

- Rata-rata t_2 dan t_1 serta Δt pada tabel percobaan 4.2 silica gel biru dengan

$$Q = 0.00002175 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$t_2 = \frac{34.4+34.5+34.5+34.5+35.6+ \dots\dots\dots+35.3}{41}$$

$$= 35.092 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \frac{32.9+33+33.4+33.4+33.5+ \dots\dots\dots+34.2}{41}$$

$$= 33.834 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{1.5+1.5+1.1+1.1+1.1+ \dots\dots\dots+1.1}{40}$$

$$= 1.3 \text{ }^\circ\text{C}$$

- Rata-rata t_2 dan t_1 serta Δt pada tabel percobaan 4.2 silica gel biru dengan

$$Q = 0.00000725 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$t_2 = \frac{34.4+34.5+34.5+34.5+35.6+ \dots\dots\dots+35.3}{41}$$

$$= 35.092 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \frac{33.4+33.7+33.9+33.9+33.8+ \dots\dots\dots+34.5}{41}$$

$$= 33.473 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{1+0.8+0.6+0.6+0.8+ \dots\dots\dots+0.8}{41}$$

$$= 0.7975 \text{ }^\circ\text{C}$$

- Rata-rata t_2 dan t_1 serta Δt pada tabel percobaan 4.2 silica gel biru dengan

$$Q = 0.00000435 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$t_2 = \frac{34+34.2+34.3+34.2+34.4+ \dots\dots\dots+35.3}{41}$$

$$= 35.092 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \frac{33.1+33.8+34.6+35+34.9+ \dots\dots\dots+35.1}{41}$$

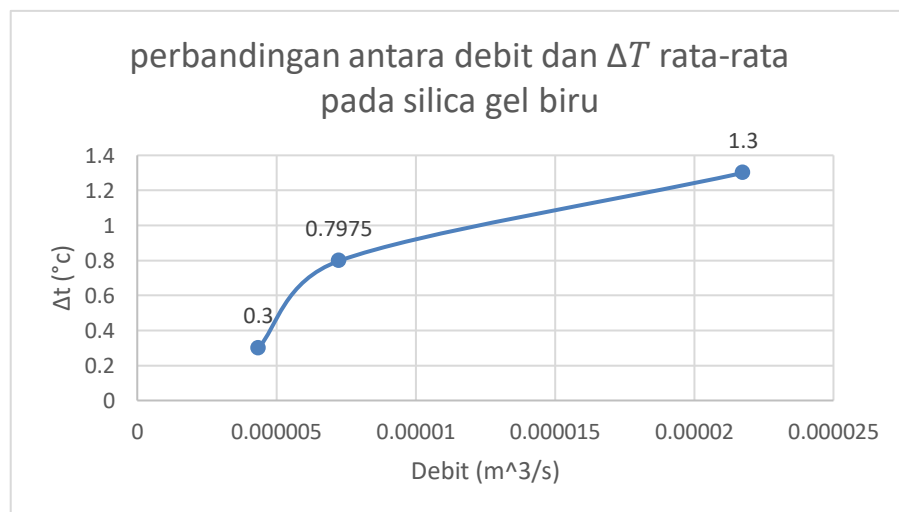
$$= 34.792 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{0.4+0.3+0.2+0.3+0.2+ \dots\dots\dots+0.2}{41}$$

$$= 0.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel 4.5 nilai rata-rata kapasitas, $t_{1\text{rata-rata}}$, $t_{2\text{rata-rata}}$, Δt rata-rata pada silica gel biru

Kapasitas (m^3/s)	$t_{1\text{rata-rata}}$ ($^\circ\text{C}$)	$t_{2\text{rata-rata}}$ ($^\circ\text{C}$)	Δt rata-rata ($^\circ\text{C}$)
0.00002175	33.834	35.092	1.3
0.00000725	33.473	35.092	0.7975
0.00000435	34.792	35.092	0.3



Gambar 4.3 grafik perbandingan debit dan ΔT pada silica gel biru

Dari grafik di atas menunjukkan perbandingan debit terhadap ΔT pada silica gel putih. Dapat kita simpulkan bahwa semakin besar debit air maka semakin besar pula perbedaan suhu antara after wheel dengan after cooler. Terlihat dari grafik silica gel putih di atas ketika debit sebesar $0.00002175 \text{ m}^3/\text{s}$ maka ΔT suhu

antara after wheel dengan after cooler sebesar 1.3 °c, begitupun sebaliknya semakin kecil debit yang dihasilkan maka semakin kecil pula ΔT .

4.4. Perhitungan Massa Jenis

Massa jenis air diperoleh dari Tabel A.9 (sifat-sifat air) dengan menggunakan data temperatur udara rata-rata pada silica gel putih.

$$\begin{aligned} \text{➤ } \rho \text{ pada } Q &= 0.00002175 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \\ &= \frac{t_{mean1} + t_{mean2}}{2} = t_{mean12} \\ &= \frac{33.973 + 35.2292}{2} = 34.6 \text{ } ^\circ\text{c} \end{aligned}$$

menggunakan Tabel A.9 dengan interpolasi untuk menentukan nilai density silica gel putih pada temperatur 34.6 °c

$$32.2 \text{ } ^\circ\text{c} = 994.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$34.6 \text{ } ^\circ\text{c} = x$$

$$37.78 \text{ } ^\circ\text{c} = 993 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{5.58}{3.18} = \frac{-1.9}{993 - x}$$

$$x = \rho = 994.0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } \rho \text{ pada } Q &= 0.00000725 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \\ &= \frac{t_{mean1} + t_{mean2}}{2} = t_{mean12} \\ &= \frac{34.43 + 35.2292}{2} = 34.82 \text{ } ^\circ\text{c} \end{aligned}$$

menggunakan Tabel A.9 dengan interpolasi untuk menentukan nilai density silica gel putih pada temperatur 34.82 °c

$$32.2 \text{ } ^\circ\text{c} = 994.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$34.82 \text{ } ^\circ\text{c} = x$$

$$37.78 \text{ } ^\circ\text{c} = 993 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{5.58}{2.96} = \frac{-1.9}{993-x}$$

$$x = \rho = 994 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } \rho \text{ pada Q} &= 0.00000435 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \\ &= \frac{t_{mean1} + t_{mean2}}{2} = t_{mean12} \\ &= \frac{34.9 + 35.2292}{2} = 35.06 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

menggunakan Tabel A.9 dengan interpolasi untuk menentukan nilai density silica gel putih pada temperatur 35.06 °C

$$32.2 \text{ } ^\circ\text{C} = 994.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$35.06 \text{ } ^\circ\text{C} = x$$

$$37.78 \text{ } ^\circ\text{C} = 993 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{5.58}{2.72} = \frac{-1.9}{993-x}$$

$$x = \rho = 993.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Massa jenis diperoleh dari Tabel A.9 (sifat-sifat air) dengan menggunakan data temperatur udara rata-rata pada silica gel biru.

$$\begin{aligned} \text{➤ } \rho \text{ pada Q} &= 0.00002175 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \\ &= \frac{t_{mean1} + t_{mean2}}{2} = t_{mean12} \\ &= \frac{33.834 + 35.092}{2} = 34.46 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

menggunakan Tabel A.9 dengan interpolasi untuk menentukan nilai density silica gel biru pada temperatur 34.46 °C

$$32.2 \text{ } ^\circ\text{C} = 994.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$34.46 \text{ } ^\circ\text{C} = x$$

$$37.78 \text{ } ^\circ\text{C} = 993 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{5.58}{3.32} = \frac{-1.9}{993-x}$$

$$x = \rho = 994.1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } \rho \text{ pada } Q &= 0.00000725 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \\ &= \frac{t_{mean1} + t_{mean2}}{2} = t_{mean12} \\ &= \frac{33.473 + 35.092}{2} = 34.28 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

menggunakan Tabel A.9 dengan interpolasi untuk menentukan nilai density silica gel biru pada temperatur 34.28 °C

$$32.2 \text{ } ^\circ\text{C} = 994.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$34.28 \text{ } ^\circ\text{C} = x$$

$$37.78 \text{ } ^\circ\text{C} = 993 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{5.58}{3.5} = \frac{-1.9}{993 - x}$$

$$x = \rho = 994.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } \rho \text{ pada } Q &= 0.00000435 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \\ &= \frac{t_{mean1} + t_{mean2}}{2} = t_{mean12} \\ &= \frac{34.792 + 35.092}{2} = 34.94 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

menggunakan Tabel A.9 dengan interpolasi untuk menentukan nilai density silica gel biru pada temperatur 34.94 °C

$$32.2 \text{ } ^\circ\text{C} = 994.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$34.94 \text{ } ^\circ\text{C} = x$$

$$37.78 \text{ } ^\circ\text{C} = 993 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{5.58}{2.84} = \frac{-1.9}{993 - x}$$

$$x = \rho = 993.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

4.5. Laju Aliran Massa

Laju aliran (m) dapat dicari dengan perkalian antara massa jenis (ρ) dikalikan dengan debit (Q)

$$m = Q \times \rho$$

Dimana :

m = laju aliran massa di dalam pipa (m^3/kg)

Q = debit (m^3/s)

ρ = massa jenis udara (kg/m^3)

- Menghitung nilai m pada kapasitas 0.00002175 (m^3/s) (fully open) pada silica gel putih dengan $\rho = 994$ (kg/m^3)

$$m = 0.00002175 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 994 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 0.0216 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- Menghitung nilai m pada kapasitas 0.00000725 (m^3/s) (bukaan $\frac{1}{2}$ katup) pada silica gel putih dengan $\rho = 994$ (kg/m^3)

$$m = 0.00000725 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 994 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 0.00720 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- Menghitung nilai m pada kapasitas 0.00000435 (m^3/s) (bukaan $\frac{1}{4}$ katup) pada silica gel putih Dengan $\rho = 993.9$ (kg/m^3)

$$m = 0.00000435 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 993.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 0.00432 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- Menghitung nilai m pada kapasitas 0.00002175 (m^3/s) (fully open) pada silica gel biru dengan $\rho = 994.1$ (kg/m^3)

$$m = 0.00002175 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 994.1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 0.02162 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- Menghitung nilai m pada kapasitas $0.00000725 \text{ (m}^3/\text{s)}$ (bukaan $\frac{1}{2}$ katup) pada silica gel biru dengan $\rho = 994.2 \text{ (kg/m}^3)$

$$m = 0.00000725 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 994.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 0.007207 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- Menghitung nilai m pada kapasitas $0.00000435 \text{ (m}^3/\text{s)}$ (bukaan $\frac{1}{4}$ katup) pada silica gel biru dengan $\rho = 993.9 \text{ (kg/m}^3)$

$$m = 0.00000435 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 993.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 0.00432 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

4.6. Perpindahan Panas Keseluruhan

Perpindahan panas keseluruhan pada sistem rotor dessicant ini adalah udara panas yang diterima air akibat perpindahan panas konveksi dari after wheel ke ruang muat.

Nilai panas keseluruhan dari udara panas yang diserap oleh air terdapat pada proses ketika udara melewati dessicant wheel maka temperature menjadi tinggi setelah itu di dinginkan dengan menggunakan cooler sebelum masuk keruang muat. Pada perhitungan ini menghitung berapa panas yang udara yang diserap air.

$$q = \dot{m} C \Delta t$$

Dimana :

q = perpindahan panas secara keseluruhan (J/s)

m = laju aliran massa di dalam pipa (m^3/kg)

C = kalor jenis air (kJ/kg.°c)

Δt = perbedaan suhu rata-rata $t_{mean2} - t_{mean1}$ (°c)

- Menghitung panas keseluruhan pada silica gel putih kapasitas 0.00002175 m³/s (fully open), $\Delta t = 1.2875$ °c, $m = 0.0216 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

$$q = 0.0216 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4.220 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{c}} \cdot 1.2875$$

$$q = 0.1173 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 117.3 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

- Menghitung panas keseluruhan pada silica gel putih kapasitas 0.00000725 m³/s (bukaan ½ katup), $\Delta t = 0.810$ °c, $m = 0.00720 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

$$q = 0.00720 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4.221 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{c}} \cdot 0.810$$

$$q = 0.0246 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 24.6 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

- Menghitung panas keseluruhan pada silica gel putih kapasitas 0.00000435 m³/s (bukaan ¼ katup), $\Delta t = 0.3375$ °c, $m = 0.00432 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

$$q = 0.00432 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4.223 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{c}} \cdot 0.3375$$

$$q = 0.00615 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 6.15 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

Tabel 4.6 data hasil perhitungan pada silica gel putih

Debit (m ³ /s)	ρ (kg/m ³)	m (m ³ /kg)	C (kJ/kg.°c)	Δt rata-rata (°c)	Q (J/s)
0.00002175	994	0.0216	4.220	1.2875	117.3
0.00000725	994	0.00720	4.221	0.810	24.6
0.00000435	993.9	0.00432	4.223	0.3375	6.15

- Menghitung panas keseluruhan pada silica gel biru kapasitas 0.00002175 m³/s (fully open), $\Delta t = 1.3$ °c, $m = 0.02162 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

$$q = 0.02162 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4.220 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1.29 ^\circ\text{C}$$

$$q = 0.1176 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 117.6 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

- Menghitung panas keseluruhan pada silica gel biru kapasitas 0.00000725 m³/s (bukaan ½ katup), Δt = 0.7975 °C, $m = 0.00720 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

$$q = 0.007207 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4.221 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0.7975 ^\circ\text{C}$$

$$q = 0.0242 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 24.2 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

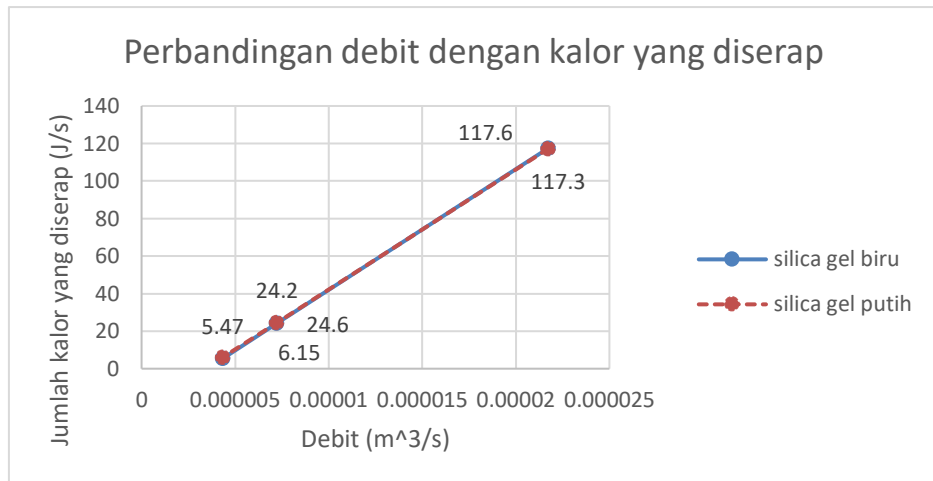
- Menghitung panas keseluruhan pada silica gel biru kapasitas 0.00000435 m³/s (bukaan ¼ katup), Δt = 0.3 °C, $m = 0.00432 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

$$q = 0.00432 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4.223 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0.3 ^\circ\text{C}$$

$$q = 0.00547 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 5.47 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

Tabel 4.7 data hasil perhitungan pada silica gel biru

Debit (m ³ /s)	ρ (kg/m ³)	m (m ³ /kg)	C (kJ/kg.°C)	Δt rata-rata (°C)	Q (J/s)
0.00002175	994.1	0.02162	4.220	1.29	117.6
0.00000725	994.2	0.007207	4.221	0.7975	24.2
0.00000435	993.9	0.00432	4.223	0.3	5.47



Gambar 4.4 grafik perbandingan kalor yang diserap dengan debit

Dari grafik di atas menunjukkan perbandingan debit dan kalor yang di serap oleh air antara silica gel putih dan biru. Dapat kita simpulkan bahwa semakin besar debit air maka semakin besar pula kalor yang di serap oleh air, Terlihat dari grafik silica gel putih di atas ketika debit sebesar 0.00002175 m³/s maka kalor yang diserap sebesar 117.3 J/s, begitupun untuk silica gel biru ketika debit sebesar 0.00002175 m³/s maka kalor yang dapat diserap yakni 117.6 J/s. Namun sebaliknya semakin kecil debit air maka kalor yang diserap juga semakin kecil. Δt juga mempengaruhi besar kecilnya nilai kalor yang diserap namun pengaruh Δt begitu signifikan.

4.7. Validasi Perpindahan Panas Keseluruhan Secara Teori

Nilai perpindahan panas secara keseluruhan dalam kapasitas fully open telah diketahui maka kita dapat membandingkan nilai panas yang di serap secara keseluruhan secara actual dengan nilai panas yang di serap secara teoritis pada kondisi fully open dari sistem cooler ini.

$$q = UAF\Delta T_{lm,CF}$$

dimana :

q = perpindahan panas secara keseluruhan (j/s)

U = overall heat transfer coefficient (w/m^2K)

A = luas penampang (m^2)

F = factor koreksi

$\Delta T_{lm,CF}$ = perbedaan suhu fluida panas dan dingin ($^{\circ}K$)

- Tabel A4: udara = $(35.2292 + 33.923)/2 = 34.6 \text{ }^\circ\text{C}$,
 $C_p = 1.0073 \text{ kJ/kg-K}$
- Tabel A6: air : $(30.2 + 30.6)/2 = 30.4 \text{ }^\circ\text{C}$,
 $C_p = 4178.3 \text{ kJ/kg-K}$
 $\mu = 796.52 \times 10^{-6} \text{ N-sc/m}^2$
 $k = 617.76 \text{ W/m-K}$, $Pr = 5.401$
- Analisis: Dari balans energi, kalor yang dilepas udara = kalor yang diterima air

$$q = m_c \cdot c_{p,a} (T_{a,i} - T_{a,o}) = 0.0216 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4178.3 \text{ kJ/kgK} \cdot (30.6 - 30.2) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$= 36.10 \text{ kJ/s}$$

Laju masa udara

$$m_u = \frac{q}{C_{p,u}(T_{u,i} - T_{u,o})} = \frac{36.10 \text{ kJ/s}}{1.0073 \text{ kJ/kgK} \cdot (35.2292 - 33.973)} = 28.5 \text{ kg/s}$$

- Menghitung reynold number air di dalam pipa
 $Re = \frac{4 \cdot m_a}{\pi D \mu} = \frac{4 \cdot 0.0216 \text{ kg/s}}{\frac{22}{7} \cdot 0.007 \cdot 796.52 \times 10^{-6} \text{ N-sc/m}^2} = 4931$
 Karena aliran turbulen maka menggunakan persamaan
- $NU_D = 0.023 Re^{4/5} Pr^{0.4} = 0.023 \cdot 4931^{4/5} \cdot 5.401^{0.4} = 40.64$
- $h_i = Nu D_{Di}^k = \frac{40.64 \cdot 0.6177 \text{ w/mk}}{0.007m} = 3586 \text{ W/ m}^2\text{K}$
- Mencari nilai $h_o =$

Diketahui pada alat heat exchanger ini dengan jumlah tembaga sebanyak 25 dan jarak antara tembaga baik vertikal ataupun horizontal adalah 2 cm.

Dan diketahui pula :

$$T_i = T_\infty = 35.2292 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$V = 4 \text{ m/s}$$

$$T_s = (35.2292 + 30.2) / 2 = 32.7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_f = (35.2292 + 32.7) / 2 = 33.9 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dengan cara melihat pada data karakteristik udara dapat di ketahui (Tabel

A4) :

$$T_i = 35.2292 + 273 = 308.2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\rho = 1.134 \text{ kg/ m}^3$$

$$C_p = 1.0073 \text{ kJ/kg-K}$$

$$v = 16.69 \text{ m}^2/\text{s } 10^{-6}$$

$$k = 26.89 \text{ w/mk}$$

$$pr = 0.705$$

$$T_s = 32.7 + 273 = 305.7 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\rho = 1.144 \text{ kg/ m}^3$$

$$C_p = 1.0072 \text{ kJ/kg-K}$$

$$v = 16.393 \text{ m}^2/\text{s } 10^{-6}$$

$$k = 26.67 \text{ w/mk}$$

$$pr = 0.705$$

$$T_f = 33.9 + 273 = 306.9 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\rho = 1.139 \text{ kg/ m}^3$$

$$C_p = 1.0072 \text{ kJ/kg-K}$$

$$k = 26.878 \text{ w/mk}$$

$$pr = 0.706$$

$$v = 16.54 \text{ m}^2/\text{s } 10^{-6}$$

$$S_D = [S_L^2 + (S_t/2)^2]^{1/2} = [2^2 + (2/2)^2]^{1/2} = 2.23 \text{ mm}$$

$$V_{\max} = \frac{St}{(St-D)} \cdot v = \frac{20}{(20-7)} \cdot 4.2 \text{ m/s} = 6.46 \text{ m/s}$$

$$Re_{D\max} = \frac{V_{\max} \cdot D}{v} = \frac{6.46 \cdot 0.007}{16.69 \text{ m}^2/\text{s } 10^{-6}} = 2709$$

$$\frac{St}{Sl} = \frac{2}{2} = 1 < 2 \text{ maka } C_1 = 0.27, C_2 = 0.92, m = 0.63$$

$$\begin{aligned} NuD &= C_2 \cdot C_1 \cdot Re_{D\max}^m \cdot Pr^{0.36} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{0.25} = \\ &= 0.92 \cdot 0.27 \cdot 2709^{0.63} \cdot 0.705^{0.36} \cdot \left(\frac{0.705}{0.706}\right)^{0.25} \\ &= 31.46 \end{aligned}$$

$$\text{➤ } h_o = NuD \frac{k}{D} = 31.46 \frac{26.89}{0.007} = 120 \text{ w/m}^2\text{K}$$

$$\text{➤ } U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_0}} = \frac{1}{\frac{1}{3582} + \frac{1}{120}} = 116 \text{ w / m}^2\text{ k}$$

$$\triangleright \Delta T_{lm,CF} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} = \frac{4.6292 - 3.773}{\ln \frac{4.6292}{3.773}} = 4.197$$

$$\triangleright A = 2\pi r t = 2 \cdot \frac{22}{7} \cdot 0.0035 \text{ m} \cdot 0.21 \text{ m} = 0.1155 \times 25 = 0.1155 \text{ m}^2$$

$$\triangleright q = UAF\Delta T_{lm,CF} = 116 \cdot 0.1155 \cdot 4.197 \cdot 1 = 57.21 \text{ J/s}$$

$$\triangleright \text{error} = \frac{\text{data yang terbaca} - \text{data hasil perhitungan}}{\text{data yang terbaca}} \times 100\%$$

$$\frac{117.3 - 57.21}{117.3} \times 100\% = 51.2 \%$$

4.8. Perhitungan Beban Panas

Beban panas dibutuhkan untuk memanaskan silica gel yang pada proses awal berhasil menyerap udara lembab, apabila silica gel tidak dipanaskan maka penyerapan terhadap udara lembab tidak maksimal akibatnya kerja silica gel mengalami kejenuhan. Dengan perhitungan ini maka dapat dilihat hasil dari kemampuan sistem pemanas untuk bisa memanaskan silica gel agar tidak jenuh.

Debit udara :

$$Q = A \times v$$

$$Q = 0.0144 \text{ m}^2 \times 1.8 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.02592 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Temperature = 50°C

Putaran = 0.0013 rpm

Kecepatan udara = 1.8 m/s

Tabel 4.8 data hasil percobaan beban panas silica gel putih

	Regeneration Air Channel				ΔT °C
	Before Wheel		After Wheel		
No	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	
1.	50.1	38	34.4	54	15.7
2.	49.9	36	34.3	55	15.6
3.	48.3	37	34.2	55	14.1
4.	47	38	34.2	55	12.8

Regeneration Air Channel					
Before Wheel			After Wheel		ΔT °C
No	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	
5.	46.1	39	34.1	55	12
6.	45.5	41	34.1	56	11.4
7.	44.9	42	34.1	56	10.8
8.	44.5	43	34.1	56	10.4
9.	44.1	44	34	56	10.1
10.	43.8	46	34	57	9.8
11.	43.4	46	34	57	9.4

Temperature = 50°C

Putaran = 0.0013 rpm

Kecepatan udara = 1.8 m/s

Tabel 4.9 data hasil percobaan beban panas silica gel biru

Regeneration Air Channel					
Before Wheel			After Wheel		ΔT °C
No	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	
1.	51.3	36	31.8	69	19.5
2.	51.1	39	31.7	69	19.4
3.	50.8	41	31.7	69	19.1
4.	50.8	44	31.7	70	19.1
5.	50.4	45	31.8	69	18.6
6.	50.2	44	31.9	68	18.3
7.	50.1	43	32	68	18.1
8.	50.2	42	32.3	67	17.9
9.	49.8	44	32.4	68	17.4
10.	49.9	45	32.5	67	17.4
11.	49.5	46	32.5	67	17

4.9. Perhitungan Rata-Rata Temperatur Udara

Dari seluruh data temperature before heater dan after heater dapat ditentukan nilai t_2 dan t_1 serta Δt . Setelah menentukan nilai t_2 dan t_1 serta Δt selanjutnya mencari nilai rata-rata t_2 dan t_1 serta Δt .

- Rata-rata t_2 dan t_1 serta Δt pada tabel percobaan silica gel putih pada temperature 40°C dengan $Q = 0.02592 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$t_2 = \frac{41.3+40.9+40.3+40.2+ \dots\dots\dots+40.8}{11}$$

$$= 40.53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \frac{35.1+35.2+35.4+35.5+ \dots\dots\dots+35.5}{11}$$

$$= 35.38 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{6.2+5.7+4.9+4.7+ \dots\dots\dots+5.3}{11}$$

$$= 5.15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Rata-rata t_2 dan t_1 serta Δt pada tabel percobaan silica gel putih pada temperature 45°C dengan $Q = 0.02592 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$t_2 = \frac{45.1+45.2+44.8+44.2+ \dots\dots\dots+42.7}{11}$$

$$= 43.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \frac{35.7+35.2+35+35+ \dots\dots\dots+34.7}{11}$$

$$= 31.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{9.4+10+9.8+9.2+ \dots\dots\dots+8}{11}$$

$$= 8.84 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Rata-rata t_2 dan t_1 serta Δt pada tabel percobaan silica gel putih pada temperature 50°C dengan $Q = 0.02592 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$t_2 = \frac{50.1+49.9+48.3+47+ \dots\dots\dots+43.4}{11}$$

$$= 46.14 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \frac{34.4+34.3+34.2+34.2+ \dots\dots\dots+34}{11}$$

$$= 34.13 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{15.7+15.6+14.1+12.8+ \dots\dots\dots+9.4}{11}$$

$$= 12.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Rata-rata t_2 dan t_1 serta Δt pada tabel percobaan silica gel biru pada temperature 40°C dengan $Q = 0.02592 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$t_2 = \frac{41+40.7+40.8+40.8+ \dots\dots\dots+39.7}{11}$$

$$= 40.35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \frac{31.8+31.7+31.7+31.7+ \dots\dots\dots+32.5}{11}$$

$$= 32.02 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{9+9.2+9.1+9.1+ \dots\dots\dots+7.2}{11}$$

$$= 8.32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Rata-rata t_2 dan t_1 serta Δt pada tabel percobaan silica gel biru pada temperature 45°C dengan $Q = 0.02592 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$t_2 = \frac{45.5+45.4+44.8+44.8+ \dots\dots\dots+44.1}{11}$$

$$= 44.68 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \frac{31+31+31+31+ \dots\dots\dots+31}{11}$$

$$= 31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{14.5+14.4+13.8+13.8+ \dots\dots\dots+13.1}{11}$$

$$= 13.68 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Rata-rata t_2 dan t_1 serta Δt pada tabel percobaan silica gel biru pada temperature 50°C dengan $Q = 0.02592 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$t_2 = \frac{51.3+51.1+50.8+50.8+ \dots\dots\dots+49.5}{11}$$

$$= 50.37 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = \frac{31.8+31.7+31.7+31.7+ \dots\dots\dots+32.5}{11}$$

$$= 32.02 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{19.5+19.4+19.1+19.1+ \dots\dots\dots+17}{11}$$

$$= 18.34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4.10. Perhitungan Massa Jenis Udara

Massa jenis udara diperoleh dari Tabel A.4 (*Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure*) dengan menggunakan data temperatur udara rata-rata pada percobaan diatas

- ρ pada $T = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$ silica gel putih

$$= \frac{t_{mean1} + t_{mean2}}{2} = t_{mean12}$$

$$= \frac{46.14+34.13}{2} = 40.13 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 37.95 + 273 = 313.13 \text{ } ^\circ\text{K}$$

menggunakan Tabel A.4 dengan interpolasi untuk menentukan nilai density pada temperatur $310.95 \text{ } ^\circ\text{K}$

$$300 \text{ } ^\circ\text{K} = 1.1614 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$313.13 \text{ } ^\circ\text{K} = x$$

$$350 \text{ } ^\circ\text{K} = 0.9950 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{50}{36.87} = \frac{-0.1664}{0.9950-x}$$

$$x = \rho = 1.117 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Laju aliran (m) dapat dicari dengan perkalian antara massa jenis (ρ) dikalikan dengan debit (Q)

$$m = Q \times \rho$$

Dimana :

m = laju aliran massa di dalam pipa (m^3/kg)

Q = debit (m^3/s)

ρ = massa jenis udara (kg/m^3)

- Menghitung nilai m pada kapasitas $0.02592 \text{ (m}^3/\text{s)}$ (kecepatan medium)
Dengan $\rho = 1.117 \text{ (kg}/\text{m}^3)$

$$m = 0.02592 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1.117 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 0.02895 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

4.11. Perhitungan Beban Panas Keseluruhan

Beban panas keseluruhan digunakan untuk mengeringkan silica gel setelah pada proses sebelumnya berhasil menyerap kelembaban udara. Dengan perhitungan ini dapat dilihat hasil dari kemampuan sistem pemanas untuk bisa mengeringkan silica gel kembali.

$$q = \dot{m} C \Delta t$$

Dimana :

q = kalor yang dihasilkan (watt)

m = laju aliran massa di dalam pipa (m^3/kg)

C = kalor jenis udara ($\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}$)

$$\Delta t = \text{perbedaan suhu rata-rata } t_{mean2} - t_{mean1} (\text{°K})$$

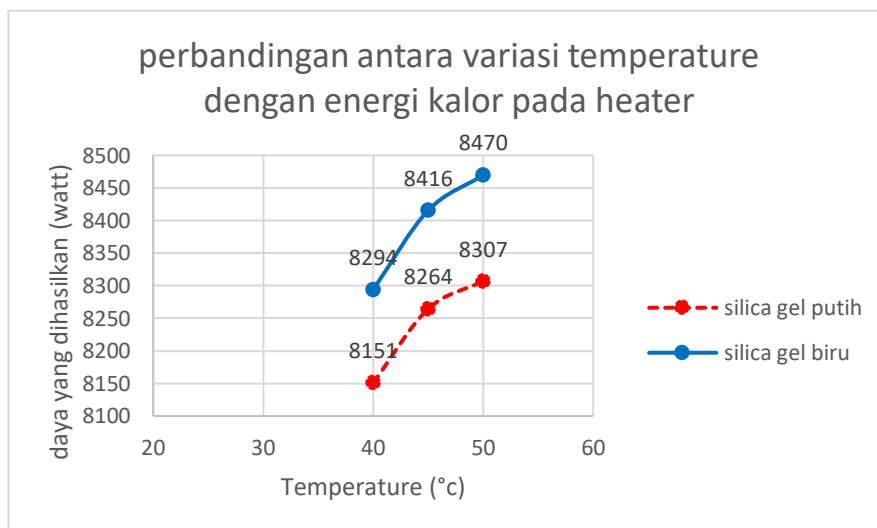
- Menghitung panas keseluruhan pada kapasitas $0.02592 \text{ m}^3/\text{s}$
 $\Delta t = 285 \text{ °K}$, $m = 0.02895 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

$$q = 0.02895 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1.0067 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{°K}} \cdot 285 \text{ °K}$$

$$q = 8.307 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 8307 \text{ watt}$$

Tabel 4.10 perbandingan daya yang dihasilkan silica gel putih dan biru

Temperature Heater (°c)	Daya yang dihasilkan untuk mengeringkan silica gel putih (watt)	Daya yang dihasilkan untuk mengeringkan silica gel biru (watt)
40	8151	8294
45	8264	8416
50	8307	8470



Gambar 4.5 grafik perbandingan kalor yang dihasilkan heater dan temperature

Dari grafik di atas menunjukkan perbandingan variasi temperature terhadap energi yang dihasilkan oleh heater . Dari grafik di atas dapat kita simpulkan bahwa

semakin besar temperature yang dihasilkan maka semakin besar pula energi panas yang dihasilkan untuk bisa mengeringkan silica gel sebaliknya semakin kecil temperature yang dihasilkan maka semakin kecil pula energi panas yang dikeluarkan untuk mengeringkan silica gel. Ketika temperature di atur pada kondisi 50 derajat celcius maka daya yang dihasilkan oleh heater untuk mengeringkan silica gel putih sebesar 8307 watt. Sebaliknya untuk silica gel biru ketika temperature yang dihasilkan sebesar 40 derajat celcius maka daya yang dihasilkan oleh heater untuk mengeringkan silica gel biru sebesar 8294 watt.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dari percobaan alat Rotor dessicant dengan memvariasikan debit air untuk sistem cooler dan temperature untuk sistem heater maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Untuk sistem cooler dimana debit yang paling besar dapat menyerap panas yang paling besar pula baik untuk silica gel putih maupun silica gel biru. Dengan debit paling besar $0.00002175 \text{ m}^3/\text{s}$ panas yang diserap oleh heat exchanger untuk silica gel biru adalah 117.6 J/s sedangkan untuk silica gel putih sebesar 117.3 J/s . dengan debit $0.00002175 \text{ m}^3/\text{s}$ mampu menurunkan temperature paling tinggi yakni $1.28 \text{ }^\circ\text{C}$ untuk silica gel putih dan $1.3 \text{ }^\circ\text{C}$ untuk silica gel biru
2. Error yang terjadi sebesar 51.2% pada sistem cooler diakibatkan oleh kebocoran pada pipa dan juga sambungan pada elbow yang bukan dari tembaga.
3. Pada sistem heater temperature paling besar akan menghasilkan energi panas yang paling besar pula. untuk silica gel putih dan biru dengan variasi temperature paling besar yakni $50 \text{ }^\circ\text{C}$ maka energi panas yang digunakan untuk mengeringkan silica gel putih sebesar 8307 watt sedangkan untuk silica gel biru sebesar 8470 watt .
4. Untuk silica gel yang menyerap panas paling besar dari sistem heater adalah silica gel biru.

5.2. Saran

1. Untuk tugas akhir selanjutnya pada sistem cooler sebaiknya elbow yang dipasang pada pipa menggunakan material tembaga agar loses tidak besar.
2. Untuk tugas akhir selanjutnya perlu dilakukan perbandingan antara alat yang sudah ada dengan software.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”




DAFTAR PUSTAKA




- Holman, J. P. (1997). Perpindahan Kalor edisi ke enam. Department of Mechanical Engineering Southern Methodist University: Raghathanaman Srinivasan.
- Incropera, Frank P, dkk. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 7th Edition. 2007, John Willey and Sons, Inc.
- Ir. Joko Sarsetiyanto, M.T. Perpindahan Panas, Diktat D3 Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ikki Adji Dharma, 2016, Analisis Performa Pemanas Air Dengan Sumber Energi Matahari, TA 1010 Surabaya : Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS
- Luqman Buchori, ST, MT. Perpindahan panas (Heat Exchanger). Diktat Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNDIP Semarang.
- O'Connor, D., Calautit, J.K. and Hughes, B.R. (2016) A novel design of a desiccant rotary wheel for passive ventilation applications. *Applied Energy*, 179. pp. 99-109. ISSN 0306-2619
- Alam Baheramsyah, Taufik Fajar Nugroho, Prasetyo Adi Wibowo. (2017) "Design of Air Ventilation System for Cargo Hold Vessels using Solar Desiccant". *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, Vol. 1(4), Sept. 2017. 241-249

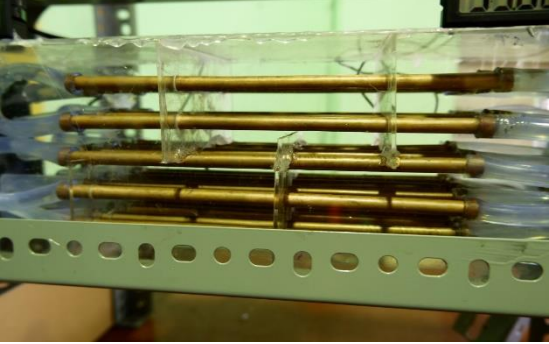

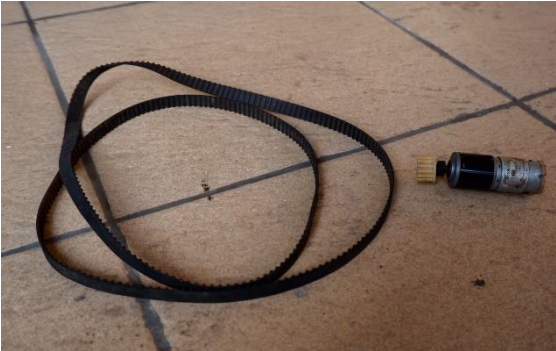
<https://www.cargohandbook.com>

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Alat	spesifikasi
	Pompa ac 220 volt 14 watt Head 0.0 – 0.9 meter
	Power supply 10 Ampere
	Heater 6 Ampere

 A circular rotor made of a mesh material, mounted on a wooden frame. It is positioned inside a red container.	Rotor dessicant diameter 40 cm
 A digital sensor displaying 59.334% on its screen, mounted on a wooden surface.	Sensor suhu dan kelembaban
 A wooden enclosure with a handle, likely used for housing the sensor and rotor.	Ruang muat dimensi 60 x 40 cm

	<p>Cooler diameter pipa 7mm sebanyak 25 buah</p>
	<p>Kipas dc 12 volt 0.59 ampere</p>
	<p>v-belt motor dc 12 volt 2 ampere</p>



Potensio meter untuk mengatur kecepatan angin Maximal untuk beban 8 ampere

Percobaan heater pada silica gel putih

Percobaan 1

Temperature = 40°C

Putaran = 12 rev/s

Kecepatan udara = 1.8 m/s

Regeneration Air Channel					
Before Wheel			After Wheel		
No	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	ΔT °C
1.	41.3	52	35.1	47	6.2
2.	40.9	51	35.2	46	5.7
3.	40.3	52	35.4	47	4.9
4.	40.2	52	35.5	47	4.7
5.	40.1	52	35.5	47	4.6
6.	40.3	53	35.5	47	4.8
7.	40.3	53	35.3	47	5
8.	40.4	52	35.2	47	5.2
9.	40.5	52	35.5	47	5
10.	40.8	52	35.5	47	5.3
11.	40.8	51	35.5	47	5.3

Percobaan 2

Temperature = 45°C

Putaran = 12 rev/s

Kecepatan udara = 1.8 m/s

Regeneration Air Channel					
Before Wheel			After Wheel		
No	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	ΔT °C
1.	45.1	44	35.7	47	9.4
2.	45.2	42	35.2	47	10
3.	44.8	41	35	46	9.8
4.	44.2	41	35	46	9.2
5.	43.9	42	34.9	47	9
6.	43.5	43	34.9	47	8.6
7.	43.3	43	34.8	46	8.5
8.	43.2	43	34.8	46	8.4
9.	43	43	34.8	46	8.2
10.	42.9	43	34.7	47	8.2
11.	42.7	43	34.7	47	8

Percobaan heater pada silica gel biru

Percobaan 3

Temperature = 45°C

Putaran = 12 rev/s

Kecepatan udara = 1.8 m/s

Regeneration Air Channel					
Before Wheel			After Wheel		ΔT °C
No	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	
1.	45.5	50	31	75	14.5
2.	45.4	47	31	75	14.4
3.	44.8	49	31	75	13.8
4.	44.8	49	31	75	13.8
5.	44.7	48	31	75	13.7
6.	44.6	49	31	75	13.6
7.	44.6	50	31	75	13.6
8.	44.4	48	31	75	13.4
9.	44.3	49	31	75	13.3
10.	44.3	50	31	75	13.3
11.	44.1	51	31	75	13.1

Percobaan 4

Temperature = 40°C

Putaran = 12 rev/s

Kecepatan udara = 1.8 m/s

Regeneration Air Channel					
Before Wheel			After Wheel		ΔT °C
No	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	
1.	41	56	31.8	69	9.2
2.	40.7	56	31.7	69	9
3.	40.8	58	31.7	69	9.1
4.	40.8	58	31.7	70	9.1
5.	40.7	57	31.8	69	8.9
6.	40.5	58	31.9	68	8.6
7.	40.1	59	32	68	8.1
8.	39.9	59	32.3	67	7.6
9.	39.8	58	32.4	68	7.4
10.	39.9	59	32.5	67	7.4
11.	39.7	58	32.5	67	7.2

percobaan 5 pada silica gel biru variasi debit pada pada 1/2 open

T	50	°C
n	12	rev/s
V	4.2	m/s
Q	0.00000725	m ³ /s

No	Time (s)	Inlet Air Channel			Heat Exchanger		Regeneration Air Channel				ΔRH %	ΔT °C	
		Before Wheel		After Wheel	After Cooler		Before Wheel		After Wheel				
		T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)		T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)		
1	0	32.3	74	34.4	61	33.4		53.5	34	32.5	71	13	1
2	60	32.3	74	34.5	59	33.7		49.3	36	32.9	68	15	0.8
3	120	32.3	75	34.5	59	33.9		47	41	33	67	16	0.6
4	180	32.3	74	34.5	59	33.9		45.4	45	33.2	67	15	0.6
5	240	32.2	74	34.6	58	33.8		44.3	47	33.2	66	16	0.8
6	300	32.2	74	34.5	59	33.6		43.7	49	33.2	66	15	0.9
7	360	32.2	75	34.8	58	33.9		43	51	33.2	66	17	0.9
8	420	32.2	75	34.7	58	33.9		42.5	52	33.2	66	17	0.8
9	480	32.2	76	34.4	58	33.6		42	53	33.2	66	18	0.8
10	540	32.1	75	34.8	59	34.1		41.1	54	33.2	66	16	0.7
11	600	32.2	76	34.9	59	34.2		41.3	54	33.2	66	17	0.7
12	660	32.2	76	35	58	34		41.3	52	33.2	66	18	1
13	720	32.2	76	35.1	59	34.3		40.9	51	33.2	66	17	0.8
14	780	32.2	75	35.1	58	34.4		40.3	52	33.2	66	17	0.7
15	840	32.2	76	35.1	58	34.1		40.2	52	33.2	66	18	1
16	900	32.2	76	35.1	58	34.4		40.1	52	33.2	66	18	0.7
17	960	32.2	76	35.3	58	34.7		40.3	53	33.2	66	18	0.6
18	1020	32.3	76	35.3	58	34.7		40.3	53	33.2	66	18	0.6
19	1080	32.1	76	35.3	59	34.5		40.4	52	33.2	66	17	0.8
20	1140	32.2	76	35.1	59	34.1		40.5	52	33.2	66	17	1
21	1200	32.2	76	35.1	57	34.5		40.8	52	33.2	66	19	0.6
22	1260	32.3	76	35.1	58	34.4		40.8	51	33.2	66	18	0.7
23	1320	32.2	77	35.2	57	34.6		40.9	53	33.1	66	20	0.6
24	1380	32.3	76	35.3	57	34.7		40.7	54	33.1	66	19	0.6
25	1440	32.2	77	35.3	57	34.6		40.5	54	33.1	66	20	0.7
26	1500	32.2	77	35.1	58	34.2		40.5	55	33.1	66	19	0.9
27	1560	32.3	77	35.2	58	34.3		40.3	55	33.1	66	19	0.9
28	1620	32.3	76	35.2	57	34.4		40.1	55	33.1	66	19	0.8
29	1680	32.2	77	35.4	58	34.4		41	56	33.1	66	19	1
30	1740	32.2	76	35.5	59	34.8		40.7	56	33.1	66	17	0.7
31	1800	32.2	77	35.5	59	34.9		40.8	58	33	66	18	0.6
32	1860	32.2	77	35.5	59	34.8		40.8	58	33	66	18	0.7
33	1920	32.2	77	35.5	59	34.7		40.7	57	33	66	18	0.8
34	1980	32.3	77	35.5	59	34.6		40.5	58	33	66	18	0.9
35	2040	32.1	77	35.5	59	34.7		40.1	59	33	66	18	0.8
36	2100	32.3	77	35.3	60	34.3		39.9	59	33	66	17	1
37	2160	32.3	77	35.4	59	34.4		39.8	58	33.1	66	18	1
38	2220	32.2	77	35.3	60	34.6		39.9	59	33.2	66	17	0.7
39	2280	32.2	78	35.3	60	34.7		39.7	58	33.2	66	18	0.6
40	2340	32.2	78	35.3	59	34.6		39.8	58	33.2	66	19	0.7
41	2400	32.2	78	35.3	59	34.5		39.8	58	33.2	66	19	0.8

percobaan 6 variasi debit pada silica gel biru pada ¼ open

T	50	°C
n	12	rev/s
V	4.2	m/s
Q	0.00000435	m ³ /s

No	Time (s)	Inlet Air Channel			Heat Exchanger		Regeneration Air Channel				ΔRH %	ΔT °C
		Before Wheel		After Wheel	After Cooler	Before Wheel		After Wheel				
		T (°C)	Humidity (%rh)	T (°C)	Humidity (%rh)	T (°C)	T (°C)	Humidity (%rh)	T (°C)	Humidity (%rh)		
1	0	32.3	74	34.4	61	34	53.5	34	32.5	71	13	0.4
2	60	32.3	74	34.5	59	34.2	49.3	36	32.9	68	15	0.3
3	120	32.3	75	34.5	59	34.3	47	41	33	67	16	0.2
4	180	32.3	74	34.5	59	34.2	45.4	45	33.2	67	15	0.3
5	240	32.2	74	34.6	58	34.4	44.3	47	33.2	66	16	0.2
6	300	32.2	74	34.5	59	34	43.7	49	33.2	66	15	0.5
7	360	32.2	75	34.8	58	34.3	43	51	33.2	66	17	0.5
8	420	32.2	75	34.7	58	34.6	42.5	52	33.2	66	17	0.1
9	480	32.2	76	34.4	58	34.2	42	53	33.2	66	18	0.2
10	540	32.1	75	34.8	59	34.6	41.1	54	33.2	66	16	0.2
11	600	32.2	76	34.9	59	34.6	41.3	54	33.2	66	17	0.3
12	660	32.2	76	35	58	34.6	41.3	52	33.2	66	18	0.4
13	720	32.2	76	35.1	59	34.6	40.9	51	33.2	66	17	0.5
14	780	32.2	75	35.1	58	34.8	40.3	52	33.2	66	17	0.3
15	840	32.2	76	35.1	58	34.8	40.2	52	33.2	66	18	0.3
16	900	32.2	76	35.1	58	34.8	40.1	52	33.2	66	18	0.3
17	960	32.2	76	35.3	58	35.2	40.3	53	33.2	66	18	0.1
18	1020	32.3	76	35.3	58	34.9	40.3	53	33.2	66	18	0.4
19	1080	32.1	76	35.3	59	35.1	40.4	52	33.2	66	17	0.2
20	1140	32.2	76	35.1	59	34.9	40.5	52	33.2	66	17	0.2
21	1200	32.2	76	35.1	57	34.6	40.8	52	33.2	66	19	0.5
22	1260	32.3	76	35.1	58	34.8	40.8	51	33.2	66	18	0.3
23	1320	32.2	77	35.2	57	34.9	40.9	53	33.1	66	20	0.3
24	1380	32.3	76	35.3	57	35.1	40.7	54	33.1	66	19	0.2
25	1440	32.2	77	35.3	57	35.1	40.5	54	33.1	66	20	0.2
26	1500	32.2	77	35.1	58	34.8	40.5	55	33.1	66	19	0.3
27	1560	32.3	77	35.2	58	34.8	40.3	55	33.1	66	19	0.4
28	1620	32.3	76	35.2	57	34.7	40.1	55	33.1	66	19	0.5
29	1680	32.2	77	35.4	58	35.1	41	56	33.1	66	19	0.3
30	1740	32.2	76	35.5	59	35.2	40.7	56	33.1	66	17	0.3
31	1800	32.2	77	35.5	59	35.4	40.8	58	33	66	18	0.1
32	1860	32.2	77	35.5	59	35.3	40.8	58	33	66	18	0.2
33	1920	32.2	77	35.5	59	35.1	40.7	57	33	66	18	0.4
34	1980	32.3	77	35.5	59	35	40.5	58	33	66	18	0.5
35	2040	32.1	77	35.5	59	35.2	40.1	59	33	66	18	0.3
36	2100	32.3	77	35.3	60	35	39.9	59	33	66	17	0.3
37	2160	32.3	77	35.4	59	35.1	39.8	58	33.1	66	18	0.3
38	2220	32.2	77	35.3	60	35	39.9	59	33.2	66	17	0.3
39	2280	32.2	78	35.3	60	35.2	39.7	58	33.2	66	18	0.1
40	2340	32.2	78	35.3	59	34.9	39.8	58	33.2	66	19	0.4
41	2400	32.2	78	35.3	59	35.1	39.8	58	33.2	66	19	0.2

percobaan 7 pada silica gel putih variasi debit pada ½ open

T	50	°C
n	12	rev/s
V	4.2	m/s
Q	0.00000725	m ³ /s

		Inlet Air Channel				Heat Exchanger		Regeneration Air Channel					
		Before Wheel		After Wheel		After Cooler		Before Wheel		After Wheel		Δ RH %	ΔT °C
No	Time (s)	T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)		
1	0	32.3	73	33.3	64	32.5		48.9	39	33.4	61	9	0.8
2	60	32.2	72	34.1	60	33.3		47.8	39	33.3	61	12	0.8
3	120	32.2	73	34.9	58	34.2		46.3	41	33.2	61	15	0.7
4	180	32.1	73	35.1	56	34.5		45.1	43	33.2	61	17	0.6
5	240	32.1	73	35.3	56	34.7		44.1	45	33.1	62	17	0.6
6	300	32.1	73	35.3	55	34.8		43.3	47	33.1	62	18	0.5
7	360	32.1	73	35.3	55	34.3		42.8	49	33.1	62	18	1
8	420	32.2	73	35.4	55	34.5		42.3	49	33.1	62	18	0.9
9	480	32.2	74	35.4	55	34.5		41.9	50	33.1	62	19	0.9
10	540	32.2	73	35.5	55	34.5		41.7	51	33.1	62	18	1
11	600	32.2	73	35.5	55	34.9		41.3	51	33.1	62	18	0.6
12	660	32.2	74	35.5	55	34.9		41.1	52	33.1	62	19	0.6
13	720	32.2	74	35.5	55	34.8		40.9	53	33.1	62	19	0.7
14	780	32.3	74	35.5	55	34.6		40.7	54	33.1	63	19	0.9
15	840	32.3	74	35.5	55	34.6		40.5	54	33.1	63	19	0.9
16	900	32.2	74	35.5	55	34.5		40.5	55	33.1	63	19	1
17	960	32.2	74	35.5	55	34.5		40.3	55	33.1	63	19	1
18	1020	32.2	74	35.5	55	34.7		40.1	55	33.1	63	19	0.8
19	1080	32.1	75	35.5	55	34.7		40	56	33	63	20	0.8
20	1140	32.1	75	35.5	55	34.9		40	56	33	64	20	0.6
21	1200	32.1	75	35.5	56	34.9		40	56	33	64	19	0.6
22	1260	32.1	75	35.5	56	35		39.9	56	33	64	19	0.5
23	1320	32	75	35.4	56	34.4		39.9	56	33	64	19	1
24	1380	32.1	75	35.3	56	34.4		39.9	56	33	64	19	0.9
25	1440	32	75	35.3	56	34.4		39.9	56	33	64	19	0.9
26	1500	32.1	75	35.2	56	34.2		39.8	57	33	64	19	1
27	1560	32.1	76	35.1	56	34.5		39.7	57	33	65	20	0.6
28	1620	32.1	76	35.1	57	34.4		39.7	57	33.1	65	19	0.7
29	1680	32.1	75	35.1	57	34.2		39.7	57	33.1	64	18	0.9
30	1740	32.1	75	35	56	34.1		39.7	57	33.1	64	19	0.9
31	1800	32.1	75	35	56	34		39.7	57	33.1	64	19	1
32	1860	32.1	75	35	56	34.2		39.7	57	33.1	64	19	0.8
33	1920	32.1	76	35.3	56	34.7		39.5	58	33.1	64	20	0.6
34	1980	32.1	76	35.3	56	34.7		39.9	58	33	64	20	0.6
35	2040	32	76	35.3	56	34.8		39.9	58	33	64	20	0.5
36	2100	32	76	35.3	56	34.3		39.4	58	32.9	65	20	1
37	2160	32	76	35.2	56	34.4		39.5	57	32.9	65	20	0.8
38	2220	32.1	76	35.2	56	34.5		39.5	57	32.9	65	20	0.7
39	2280	32	75	35.2	56	34.3		39.5	57	32.9	65	19	0.9
40	2340	32.1	76	35.2	56	34.3		39.5	58	33	65	20	0.9
41	2400	32.2	78	35.3	55	34.4		39.8	58	33.2	66	23	0.9

percobaan 8 variasi debit pada silica gel putih pada ¼ open

T	50	°C
n	12	rev/s
V	4.2	m/s
Q	0.0000435	m ³ /s

No	Time (s)	Inlet Air Channel				Heat Exchanger	Regeneration Air Channel				ΔRH %	ΔT °C
		Before Wheel		After Wheel		After Cooler	Before Wheel		After Wheel			
		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)		
1	0	32.3	73	33.3	64	33.1	48.9	39	33.4	61	9	0.2
2	60	32.2	72	34.1	60	33.8	47.8	39	33.3	61	12	0.3
3	120	32.2	73	34.9	58	34.6	46.3	41	33.2	61	15	0.3
4	180	32.1	73	35.1	56	35	45.1	43	33.2	61	17	0.1
5	240	32.1	73	35.3	56	34.9	44.1	45	33.1	62	17	0.4
6	300	32.1	73	35.3	55	34.8	43.3	47	33.1	62	18	0.5
7	360	32.1	73	35.3	55	34.8	42.8	49	33.1	62	18	0.5
8	420	32.2	73	35.4	55	35	42.3	49	33.1	62	18	0.4
9	480	32.2	74	35.4	55	35.1	41.9	50	33.1	62	19	0.3
10	540	32.2	73	35.5	55	35.2	41.7	51	33.1	62	18	0.3
11	600	32.2	73	35.5	55	35.3	41.3	51	33.1	62	18	0.2
12	660	32.2	74	35.5	55	35.4	41.1	52	33.1	62	19	0.1
13	720	32.2	74	35.5	55	35.3	40.9	53	33.1	62	19	0.2
14	780	32.3	74	35.5	55	35	40.7	54	33.1	63	19	0.5
15	840	32.3	74	35.5	55	35.1	40.5	54	33.1	63	19	0.4
16	900	32.2	74	35.5	55	35.2	40.5	55	33.1	63	19	0.3
17	960	32.2	74	35.5	55	35.4	40.3	55	33.1	63	19	0.1
18	1020	32.2	74	35.5	55	35.1	40.1	55	33.1	63	19	0.4
19	1080	32.1	75	35.5	55	35	40	56	33	63	20	0.5
20	1140	32.1	75	35.5	55	35	40	56	33	64	20	0.5
21	1200	32.1	75	35.5	56	35.1	40	56	33	64	19	0.4
22	1260	32.1	75	35.5	56	35.2	39.9	56	33	64	19	0.3
23	1320	32	75	35.4	56	35.1	39.9	56	33	64	19	0.3
24	1380	32.1	75	35.3	56	35.1	39.9	56	33	64	19	0.2
25	1440	32	75	35.3	56	35.2	39.9	56	33	64	19	0.1
26	1500	32.1	75	35.2	56	35	39.8	57	33	64	19	0.2
27	1560	32.1	76	35.1	56	34.8	39.7	57	33	65	20	0.5
28	1620	32.1	76	35.1	57	34.8	39.7	57	33.1	65	19	0.3
29	1680	32.1	75	35.1	57	35	39.7	57	33.1	64	18	0.1
30	1740	32.1	75	35	56	34.6	39.7	57	33.1	64	19	0.4
31	1800	32.1	75	35	56	34.5	39.7	57	33.1	64	19	0.5
32	1860	32.1	75	35	56	34.5	39.7	57	33.1	64	19	0.5
33	1920	32.1	76	35.3	56	34.9	39.5	58	33.1	64	20	0.4
34	1980	32.1	76	35.3	56	35	39.9	58	33	64	20	0.3
35	2040	32	76	35.3	56	35.2	39.9	58	33	64	20	0.1
36	2100	32	76	35.3	56	34.9	39.4	58	32.9	65	20	0.4
37	2160	32	76	35.2	56	34.7	39.5	57	32.9	65	20	0.5
38	2220	32.1	76	35.2	56	34.7	39.5	57	32.9	65	20	0.5
39	2280	32	75	35.2	56	34.8	39.5	57	32.9	65	19	0.4
40	2340	32.1	76	35.2	56	34.8	39.5	58	33	65	20	0.3
41	2400	32.2	78	35.3	55	35	39.8	58	33.2	66	23	0.3

Percobaan 9 silica gel biru

T	45	°C
n	12	rev/s
V	4.2	m/s
Q	0.0000725	m ³ /s

Inlet Air Channel					Heat Exchanger		Regeneration Air Channel					
No	Time (s)	Before Wheel		After Wheel		After Cooler	Before Wheel		After Wheel		Δ RH %	ΔT °C
		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)		
1	0	32.3	74	34.4	61	33.7	44	49	32.5	67	13	0.7
2	60	32.3	74	34.5	59	33.7	42.7	51	32.8	66	15	0.8
3	120	32.3	75	34.5	59	33.7	41.6	52	32.9	65	16	0.8
4	180	32.3	74	34.5	59	33.7	41.6	53	32.9	65	15	0.8
5	240	32.2	74	34.6	58	33.6	41.3	53	33.2	67	16	1
6	300	32	74	34.5	59	33.4	41.2	53	33.4	66	15	1.1
7	360	32.4	75	34.8	58	33.5	41.4	53	33.3	66	17	1.3
8	420	32.1	75	35.1	58	34.2	41	53	33.5	64	17	0.9
9	480	32.1	76	35.4	58	34.4	40.8	54	33.8	66	18	1
10	540	32.5	75	35	57	34.6	40.5	54	33.9	65	18	0.4
11	600	31	76	35.8	57	35.1	40.1	54	33.9	65	19	0.7

Percobaan 10 silica gel biru

T	50	°C
n	9	rev/s
V	4.2	m/s
Q	0.00002175	m ³ /s

Inlet Air Channel					Heat Exchanger		Regeneration Air Channel					
No	Time (s)	Before Wheel		After Wheel		After Cooler	Before Wheel		After Wheel		Δ RH %	ΔT °C
		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)		
1	0	32.9	74	33.9	69	33.4	53.5	34	32.5	71	5	0.5
2	60	32.5	76	34.1	62	33.3	49.3	36	32.9	68	14	0.8
3	120	32.5	76	34.6	61	33.5	47	41	33	67	15	1.1
4	180	32.4	77	34.9	60	33.7	45.4	45	33.1	67	17	1.2
5	240	32.4	77	35	60	33.8	44.3	47	33.1	66	17	1.2
6	300	32.3	77	35	60	34	43.7	49	33.1	66	17	1
7	360	32.3	77	35.1	59	34.1	43	51	33.2	66	18	1
8	420	32.3	77	35.1	59	34.2	42.5	52	33.2	66	18	0.9
9	480	32.3	78	35.1	59	34.3	42	53	33.2	66	19	0.8
10	540	32.3	78	35.1	59	34.3	41.1	54	33.2	66	19	0.8
11	600	32.3	78	35.1	59	34.4	41.3	54	33.2	66	19	0.7

Percobaan 11 silica gel biru

T	50	°C
n	12	rev/s
V	4.2	m/s
Q	0.00002175	m ³ /s

Inlet Air Channel					Heat Exchanger		Regeneration Air Channel					
No	Time (s)	Before Wheel		After Wheel		After Cooler	Before Wheel		After Wheel		Δ RH %	ΔT °C
		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)		
1	0	33.9	64	33.7	61	33.3	50.1	35	33.4	59	3	0.4
2	60	33.2	67	34	58	33.8	50	33	33.6	59	9	0.2
3	120	33.1	69	34.6	57	33.8	47.7	35	33.7	59	12	0.8
4	180	33.1	70	35	56	33.9	46.7	36	33.8	59	14	1.1
5	240	33.1	70	35.3	56	34.1	45.5	38	33.9	59	14	1.2
6	300	33	71	35.4	56	34.2	44.9	39	33.9	60	15	1.2
7	360	32.9	71	35.5	56	34.4	44.2	40	33.9	60	15	1.1
8	420	32.9	71	35.5	55	34.5	43.8	41	33.9	60	16	1
9	480	32.8	71	35.5	55	34.6	43.3	42	33.8	60	16	0.9
10	540	32.8	71	35.5	55	34.6	43	42	33.8	60	16	0.9
11	600	32.8	71	35.5	55	34.6	42.9	43	33.7	60	16	0.9

Percobaan 12 silica gel biru

T	45	°C
n	12	rev/s
V	0.8	m/s
Q	0.00002175	m ³ /s

Inlet Air Channel		Heat Exchanger				Regeneration Air Channel							
		Before Wheel		After Wheel		After Cooler		Before Wheel		After Wheel			
No	Time (s)	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)		T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	Δ RH %	ΔT °C
1	0	30.9	84	32.5	71	31		45.5	50	31	75	13	1.5
2	60	30.9	83	32.5	70	31		45.4	47	31	75	13	1.5
3	120	30.9	83	32.5	70	31.4		44.8	49	31	75	13	1.1
4	180	30.9	84	32.5	70	31.4		44.8	49	31	75	14	1.1
5	240	30.8	84	32.6	69	31.5		44.7	48	31	75	15	1.1
6	300	30.8	85	32.6	69	31.6		44.6	49	31	75	16	1
7	360	30.8	84	32.4	70	31.3		44.6	50	31	75	14	1.1
8	420	30.6	85	32.5	69	31.5		44.4	48	31	75	16	1
9	480	30.7	86	32.6	68	31.4		44.3	49	31	75	18	1.2
10	540	30.5	86	32.5	68	31.2		44.3	49	31	75	18	1.3
11	600	30.6	86	32.5	68	31.1		44.1	51	31	75	18	1.4

Percobaan 13 silica gel biru

T	40	°C
n	5	rev/s
V	4.2	m/s
Q	0.00002175	m ³ /s

Inlet Air Channel		Heat Exchanger				Regeneration Air Channel							
		Before Wheel		After Wheel		After Cooler		Before Wheel		After Wheel			
No	Time (s)	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)		T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	Δ RH %	ΔT °C
1	0	31.5	77	33	66	32.5		41	56	30.4	76	11	0.5
2	60	31.3	77	32.9	66	32.3		40.7	56	30.3	75	11	0.6
3	120	31.2	78	32.9	66	32.3		40.8	58	30.3	75	12	0.6
4	180	31.1	78	32.9	65	32.2		40.8	58	30.3	75	13	0.7
5	240	31.1	78	33.2	65	32.5		40.7	57	30.5	76	13	0.7
6	300	30.9	79	33.4	63	32.5		40.5	58	30.6	76	16	0.9
7	360	30.9	79	33.5	62	32.7		40.1	59	30.5	75	17	0.8
8	420	30.6	80	33.4	63	32.6		39.9	59	30.4	75	17	0.8
9	480	30.6	79	33.6	62	32.8		39.8	58	30.5	76	17	0.8
10	540	30.5	80	33.7	63	32.8		39.9	59	30.6	75	17	0.9
11	600	30.1	80	33.8	61	32.9		39.7	58	30.6	75	19	0.9

Percobaan 14 silica gel biru

T	50	°C
n	5	rev/s
V	0.8	m/s
Q	0.00000435	m ³ /s

Inlet Air Channel		Heat Exchanger				Regeneration Air Channel							
		Before Wheel		After Wheel		After Cooler		Before Wheel		After Wheel			
No	Time (s)	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)		T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	Δ RH %	ΔT °C
1	0	30.6	86	32.3	73	31.8		50.5	42	30.9	79	13	0.5
2	60	30.6	85	32.3	72	31.9		50.2	40	30.9	78	13	0.4
3	120	30.5	85	32.4	72	31.9		50.1	42	30.9	78	13	0.5
4	180	30.4	85	32.4	71	32		50.2	42	31	78	14	0.4
5	240	30.1	86	32.4	70	32.1		50	42	31.2	77	16	0.3
6	300	30	86	32.4	71	31.9		49.8	41	31.3	78	15	0.5
7	360	29.8	87	32.4	71	31.8		49.7	42	31.2	79	16	0.6
8	420	29.9	88	32.4	69	32		49.8	41	31.4	77	19	0.4
9	480	30	86	32.4	69	31.9		49.2	40	31.5	78	17	0.5
10	540	30.1	87	32.4	70	31.7		49.1	40	31.7	79	17	0.7
11	600	29.7	88	32.4	69	32		49.3	41	31.2	78	19	0.4

Percobaan 15 silica gel biru

T	50	°C
n	5	rev/s
V	1.8	m/s
Q	0.00002175	m ³ /s

		Inlet Air Channel				Heat Exchanger		Regeneration Air Channel					
		Before Wheel		After Wheel		After Cooler		Before Wheel		After Wheel			
No	Time (s)	T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)	Δ RH %	Δ T °C
1	0	30.2	82	31.4	69	30.9		51.3	36	31.8	69	13	0.5
2	60	30	81	31.5	69	31.1		51.1	39	31.7	69	12	0.4
3	120	30	82	31.5	68	31.3		50.8	41	31.7	69	14	0.2
4	180	30	82	31.5	69	31.2		50.8	44	31.7	70	13	0.3
5	240	30.1	82	31.6	68	31.1		50.4	45	31.8	69	14	0.5
6	300	30.4	82	31.9	67	31.2		50.2	44	31.9	68	15	0.7
7	360	30	83	32.5	68	31.9		50.1	43	32	68	15	0.6
8	420	29.8	82	32.4	67	31.8		50.2	42	32.3	67	15	0.6
9	480	29.9	83	32.1	67	31.7		49.8	44	32.4	68	16	0.4
10	540	29.7	83	32.6	66	31.6		49.9	45	32.5	67	17	1
11	600	29.9	83	32.5	65	32		49.5	46	32.5	67	18	0.5

Percobaan 16 silica gel biru

T	45	°C
n	5	rev/s
V	0.8	m/s
Q	0.00002175	m ³ /s

		Inlet Air Channel				Heat Exchanger		Regeneration Air Channel					
		Before Wheel		After Wheel		After Cooler		Before Wheel		After Wheel			
No	Time (s)	T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)	Δ RH %	Δ T °C
1	0	30.9	84	32.5	71	31		45.5	50	31	75	13	1.5
2	60	30.9	83	32.5	70	31		45.4	47	31	75	13	1.5
3	120	30.9	83	32.5	70	31.4		44.8	49	31	75	13	1.1
4	180	30.9	84	32.5	70	31.4		44.8	49	31	75	14	1.1
5	240	30.8	84	32.6	69	31.5		44.7	48	31	75	15	1.1
6	300	30.8	85	32.6	69	31.6		44.6	49	31	75	16	1
7	360	30.8	84	32.4	70	31.3		44.6	50	31	75	14	1.1
8	420	30.6	85	32.5	69	31.5		44.4	48	31	75	16	1
9	480	30.7	86	32.6	68	31.4		44.3	49	31	75	18	1.2
10	540	30.5	86	32.5	68	31.2		44.3	50	31	75	18	1.3
11	600	30.6	86	32.5	68	31.1		44.1	51	31	75	18	1.4

Percobaan 17 silica gel biru

T	40	°C
n	5	rev/s
V	4.2	m/s
Q	0.00002175	m ³ /s

		Inlet Air Channel				Heat Exchanger		Regeneration Air Channel					
		Before Wheel		After Wheel		After Cooler		Before Wheel		After Wheel			
No	Time (s)	T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)	Δ RH %	Δ T °C
1	0	31.5	77	33	66	32.5		41	56	30.4	76	11	0.5
2	60	31.3	77	32.9	66	32.3		40.7	56	30.3	75	11	0.6
3	120	31.2	78	32.9	66	32.3		40.8	58	30.3	75	12	0.6
4	180	31.1	78	32.9	65	32.2		40.8	58	30.3	75	13	0.7
5	240	31.1	78	33.2	65	32.5		40.7	57	30.5	76	13	0.7
6	300	30.9	79	33.4	63	32.5		40.5	58	30.6	76	16	0.9
7	360	30.9	79	33.5	62	32.7		40.1	59	30.5	75	17	0.8
8	420	30.6	80	33.4	63	32.6		39.9	59	30.4	75	17	0.8
9	480	30.6	79	33.6	62	32.8		39.8	58	30.5	76	17	0.8
10	540	30.5	80	33.7	63	32.8		39.9	59	30.6	75	17	0.9
11	600	30.1	80	33.8	61	32.9		39.7	58	30.6	75	19	0.9

Percobaan 18 silica gel putih

T	50	°C
n	5	rev/s
V	4.2	m/s
Q	0.00002175	m ³ /s

Inlet Air Channel						Heat Exchanger		Regeneration Air Channel					
		Before Wheel		After Wheel		After Cooler		Before Wheel		After Wheel			
No	Time (s)	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)		T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	ΔRH %	ΔT °C
1	0	33.8	55	35.9	46	34.9		50.1	35	34.9	47	9	1
2	60	33.7	56	36.3	44	34.9		50	33	34.7	47	12	1.4
3	120	33.7	56	36.9	43	35.6		47.7	35	34.7	47	13	1.3
4	180	33.7	56	37	43	35.6		46.7	36	34.7	47	13	1.4
5	240	33.6	56	37.1	43	35.6		45.5	38	34.6	47	13	1.5
6	300	33.7	56	37.1	43	35.7		44.9	39	34.6	47	13	1.4
7	360	33.6	56	37.1	43	35.9		44.2	40	34.6	47	13	1.2
8	420	33.7	56	37.1	42	35.8		43.8	41	34.6	47	14	1.3
9	480	33.7	56	37.1	42	36		43.3	42	34.6	47	14	1.1
10	540	33.7	56	37.1	42	35.6		43	42	34.6	47	14	1.5
11	600	33.7	56	37.1	42	35.6		42.9	43	34.6	48	14	1.5

Percobaan 19 silica gel putih

T	50	°C
n	9	rev/s
V	4.2	m/s
Q	0.00002175	m ³ /s

Inlet Air Channel						Heat Exchanger		Regeneration Air Channel					
		Before Wheel		After Wheel		After Cooler		Before Wheel		After Wheel			
No	Time (s)	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)		T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	ΔRH %	ΔT °C
1	0	33.7	56	35.5	47	34.3		50.1	35	34.7	48	9	1.2
2	60	33.5	56	36.1	45	34.8		49	34	34.7	48	11	1.3
3	120	33.5	57	36.5	44	35.4		47.2	35	34.6	48	13	1.1
4	180	33.5	57	36.7	44	35.2		46.3	37	34.5	48	13	1.5
5	240	33.4	57	36.8	44	35.3		45.3	39	34.5	48	13	1.5
6	300	33.3	57	36.9	44	35.6		44.5	40	34.4	48	13	1.3
7	360	33.3	57	36.8	44	35.4		44	40	34.4	48	13	1.4
8	420	33.3	57	36.8	44	35.6		43.5	42	34.3	49	13	1.2
9	480	33.3	58	36.8	44	35.4		43.2	43	34.4	49	14	1.4
10	540	33.3	58	36.8	44	35.3		42.9	43	34.3	49	14	1.5
11	600	33.3	59	36.9	44	35.7		42.6	44	34.3	50	15	1.2

Percobaan 20 silica gel putih

T	50	°C
n	5	rev/s
V	4.2	m/s
Q	0.00000725	m ³ /s

Inlet Air Channel						Heat Exchanger		Regeneration Air Channel					
		Before Wheel		After Wheel		After Cooler		Before Wheel		After Wheel			
No	Time (s)	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)		T (°C)	Humidity (%rH)	T (°C)	Humidity (%rH)	ΔRH %	ΔT °C
1	0	33	66	34.7	55	34		50.1	38	34.4	54	15.7	
2	60	33	66	35.2	52	34.4		49.9	36	34.3	55	15.6	
3	120	32.9	66	36.1	50	27.1		48.3	37	34.2	55	14.1	
4	180	33	66	36.5	49	35.9		47	38	34.2	55	12.8	
5	240	32.9	67	36.8	48	36.3		46.1	39	34.1	55	12	
6	300	32.9	67	36.9	48	36.2		45.5	41	34.1	56	11.4	
7	360	32.9	67	37	48	36.5		44.9	42	34.1	56	10.8	
8	420	32.9	67	37.1	48	36.5		44.5	43	34.1	56	10.4	
9	480	32.8	68	37.1	48	36.4		44.1	44	34	56	10.1	
10	540	32.7	68	37.1	48	36.3		43.8	46	34	57	9.8	
11	600	32.8	68	37.1	47	36.3		43.4	46	34	57	9.4	

Percobaan 21 silica gel putih

T	50	°C
n	5	rev/s
V	4.2	m/s
Q	0.00000725	m ³ /s

Inlet Air Channel						Heat Exchanger		Regeneration Air Channel					
No	Time (s)	Before Wheel		After Wheel		After Cooler		Before Wheel		After Wheel		Δ RH %	ΔT °C
		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)		
1	0	32.6	74	33.4	66	32.6		49.2	41	34.1	59	8	0.5
2	60	32.7	73	33.6	64	33.1		46.7	44	34.1	60	9	0.6
3	120	32.7	73	33.6	65	33		45.7	47	34.1	60	8	0.9
4	180	32.7	72	33.5	65	32.6		44.7	48	34.1	59	7	0.7
5	240	32.7	73	33.5	65	32.8		44.2	50	34.1	60	8	0.6
6	300	32.7	73	33.4	66	32.8		43.7	51	34.1	60	7	0.8
7	360	32.7	73	33.4	66	32.6		43.3	52	34.1	60	7	0.8
8	420	32.7	73	33.3	66	32.5		43	53	34.2	60	7	0.5
9	480	32.7	74	33.3	66	32.8		42.9	53	34.1	60	8	0.8
10	540	32.7	74	33.3	66	32.5		42.7	53	34.1	60	8	0.7
11	600	32.7	73	33	66	32.3		42.4	53	34.1	60	7	0.77

Percobaan 22 silica gel putih

T	50	°C
n	5	rev/s
V	0.8	m/s
Q	0.00000725	m ³ /s

Inlet Air Channel						Heat Exchanger		Regeneration Air Channel					
No	Time (s)	Before Wheel		After Wheel		After Cooler		Before Wheel		After Wheel		Δ RH %	ΔT °C
		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)		
1	0	32.6	74	33.4	66	32.6		49.2	41	34.1	59	8	0.5
2	60	32.7	73	33.6	64	33.1		46.7	44	34.1	60	9	0.6
3	120	32.7	73	33.6	65	33		45.7	47	34.1	60	8	0.9
4	180	32.7	72	33.5	65	32.6		44.7	48	34.1	59	7	0.7
5	240	32.7	73	33.5	65	32.8		44.2	50	34.1	60	8	0.6
6	300	32.7	73	33.4	66	32.8		43.7	51	34.1	60	7	0.8
7	360	32.7	73	33.4	66	32.6		43.3	52	34.1	60	7	0.8
8	420	32.7	73	33.3	66	32.5		43	53	34.2	60	7	0.5
9	480	32.7	74	33.3	66	32.8		42.9	53	34.1	60	8	0.8
10	540	32.7	74	33.3	66	32.5		42.7	53	34.1	60	8	0.7
11	600	32.7	73	33	66	32.3		42.4	53	34.1	60	7	0.77

Percobaan 23 silica gel putih

T	50	°C
n	12	rev/s
V	1.8	m/s
Q	0.00000435	m ³ /s

Inlet Air Channel						Heat Exchanger		Regeneration Air Channel					
No	Time (s)	Before Wheel		After Wheel		After Cooler		Before Wheel		After Wheel		Δ RH %	ΔT °C
		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)		
1	0	32.5	74	33.1	68	32.6		49.9	40	34	61	6	0.5
2	60	32.4	74	34.5	62	34.3		48.1	40	33.9	61	12	0.1
3	120	32.3	75	35.5	58	35.4		46.8	41	33.8	61	17	0.4
4	180	32.4	75	35.5	55	35.1		45.3	44	33.8	61	20	0.5
5	240	32.5	75	36.2	54	35.7		44.7	45	33.8	61	21	0.2
6	300	32.4	74	36.3	54	36.1		43.9	47	33.8	61	20	0.4
7	360	32.3	75	36.4	53	36		43.3	48	33.7	62	22	0.3
8	420	32.3	75	36.5	53	36.2		43	49	33.7	62	22	0.5
9	480	32.3	75	36.4	53	35.9		42.5	50	33.6	62	22	0.5
10	540	32.2	75	36.3	53	35.8		42.2	50	33.5	62	22	0.2
11	600	32.3	75	36.4	52	36.2		41.9	51	33.5	62	23	0.38

Percobaan 24 silica gel putih

T	50	°C
n	12	rev/s
V	4.2	m/s
Q	0.0000435	m ³ /s

Inlet Air Channel				Heat Exchanger		Regeneration Air Channel							
No	Time (s)	Before Wheel		After Wheel		After Cooler		Before Wheel		After Wheel		ΔRH %	ΔT °C
		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)		
1	0	32.5	74	33.1	58	32.6		49.9	40	34	61	16	0.5
2	60	32.4	74	34.5	56	34.3		48.1	40	33.9	61	18	0.1
3	120	32.3	75	35.5	55	35.4		46.8	41	33.8	61	20	0.4
4	180	32.4	75	35.5	55	35.1		45.3	44	33.8	61	20	0.5
5	240	32.5	75	36.2	54	35.7		44.7	45	33.8	61	21	0.2
6	300	32.4	74	36.3	54	36.1		43.9	47	33.8	61	20	0.4
7	360	32.3	75	36.4	53	36		43.3	48	33.7	62	22	0.3
8	420	32.3	75	36.5	53	36.2		43	49	33.7	62	22	0.5
9	480	32.3	75	36.4	53	35.9		42.5	50	33.6	62	22	0.5
10	540	32.2	75	36.3	53	35.8		42.2	50	33.5	62	22	0.2
11	600	32.3	75	36.4	52	36.2		41.9	51	33.5	62	23	0.38

Percobaan 25 silica gel putih

T	50	°C
n	12	rev/s
V	4.2	m/s
Q	0.0000725	m ³ /s

Inlet Air Channel				Heat Exchanger		Regeneration Air Channel							
No	Time (s)	Before Wheel		After Wheel		After Cooler		Before Wheel		After Wheel		ΔRH %	ΔT °C
		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)		
1	0	32.3	74	35	58	34.2		49.9	40	33.8	61	16	0.5
2	60	32.3	74	35.4	56	34.9		50	37	33.7	62	18	0.6
3	120	32.3	74	35.8	55	35.2		47.1	40	33.5	62	19	0.9
4	180	32.2	74	36	54	35.1		45.9	43	33.5	62	20	0.7
5	240	32.2	74	36.1	53	35.4		44.9	45	33.5	62	21	0.6
6	300	32.1	75	36.1	53	35.5		44.1	46	33.4	63	22	0.8
7	360	32.3	75	36.1	53	35.3		43.5	48	33.4	63	22	0.8
8	420	32.3	74	36.2	53	35.4		43	49	33.4	63	21	0.5
9	480	32.2	74	36.3	52	35.8		42.7	50	33.4	63	22	0.8
10	540	32.2	74	36.3	52	35.5		42.5	50	33.4	63	22	0.7
11	600	32.2	74	36.2	52	35.5		42.1	50	33.3	63	22	0.77

Percobaan 26 silica gel putih

T	50	°C
n	12	rev/s
V	1.8	m/s
Q	0.00002175	m ³ /s

Inlet Air Channel				Heat Exchanger		Regeneration Air Channel							
No	Time (s)	Before Wheel		After Wheel		After Cooler		Before Wheel		After Wheel		ΔRH %	ΔT °C
		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)		T (°C)	Humidity (%RH)	T (°C)	Humidity (%RH)		
1	0	32.2	74	35	58	33.8		50	40	33.6	62	16	1.2
2	60	32.3	74	35.2	56	33.9		48.3	41	33.5	62	18	1.1
3	120	32.3	74	35.6	55	34.5		46	44	33.5	61	19	1.5
4	180	32.3	74	35.8	55	34.3		44.6	47	33.7	62	19	1.5
5	240	32.3	74	35.8	54	34.3		43.8	49	33.7	62	20	1.3
6	300	32.3	74	35.8	54	34.5		43	51	33.8	62	20	1.4
7	360	32.3	73	35.8	54	34.4		42.7	51	33.9	61	19	1.2
8	420	32.3	73	35.7	54	34.5		42.3	52	33.9	61	19	1.4
9	480	32.3	73	35.7	54	34.3		41.9	52	34	60	19	1.5
10	540	32.3	73	35.7	54	34.2		41.7	53	34	60	19	1.2
11	600	32.3	73	35.7	54	34.5		41.5	53	34	60	19	1.46

Tabel A-9 Sifat-sifat Air (Zat-cair Jenuh)†
 Catatan $Gr_x Pr = \left(\frac{g\beta\rho^2 c_p}{\mu k} \right) x^3 \Delta T$

593

°F	°C	c_p , kJ/kg · °C	ρ , kg/m ³	μ , kg/m · s	k , W/m · °C	Pr	$\frac{g\beta\rho^2 c_p}{\mu k}$, 1/m ³ · °C
32	0	4.225	999.8				
40	4.44	4.208	999.8	1.79×10^{-3}			
50	10	4.195	999.2	1.55	0.566	13.25	
60	15.56	4.186	998.6	1.31	0.575	11.35	1.91×10^9
70	21.11	4.179	997.4	1.12	0.585	9.40	6.34×10^9
80	26.67	4.179	995.8	9.8×10^{-4}	0.595	7.88	1.08×10^{10}
90	32.22	4.174	994.9	8.6	0.604	6.78	1.46×10^{10}
100	37.78	4.174	993.0	7.65	0.614	5.85	1.91×10^{10}
110	43.33	4.174	990.6	6.82	0.623	5.12	2.48×10^{10}
120	48.89	4.174	988.8	6.16	0.630	4.53	3.3×10^{10}
130	54.44	4.179	985.7	5.62	0.637	4.04	4.19×10^{10}
140	60	4.179	983.3	5.13	0.644	3.64	4.89×10^{10}
150	65.55	4.183	980.3	4.71	0.649	3.30	5.66×10^{10}
160	71.11	4.186	977.3	4.3	0.654	3.01	6.48×10^{10}
170	76.67	4.191	973.7	4.01	0.659	2.73	7.62×10^{10}
180	82.22	4.195	970.2	3.72	0.665	2.53	8.84×10^{10}
190	87.78	4.199	966.7	3.47	0.668	2.33	9.85×10^{10}
200	93.33	4.204	963.2	3.27	0.673	2.16	1.09×10^{11}
220	104.4	4.216	955.1	3.06	0.675	2.03	
240	115.6	4.229	946.7	2.67	0.678	1.90	
260	126.7	4.250	937.2	2.44	0.684	1.66	
280	137.8	4.271	928.1	2.19	0.685	1.51	
300	148.9	4.296	918.0	1.98	0.685	1.36	
350	176.7	4.371	890.4	1.86	0.685	1.24	
400	204.4	4.467	859.4	1.98	0.684	1.17	
450	232.2	4.585	825.7	1.86	0.677	1.02	
500	260	4.731	785.2	1.57	0.665	1.00	
550	287.7	5.024	735.5	1.36	0.665	0.85	
600	315.6	5.703	678.7	1.20	0.646	0.83	
				9.51×10^{-5}	0.616		
				8.68			

† Adaptasi dari A. I. Brown dan S. M. Marco, "Introduction to Heat Transfer," 3d ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1958.

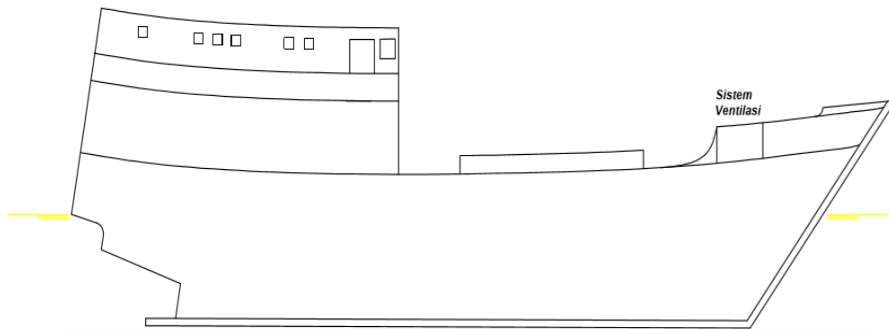
Daftar ini menggunakan satuan SI.

TABLE A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure^a

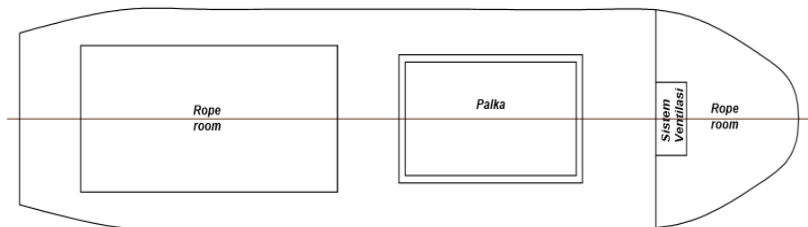
T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air, $M = 28.97$ kg/kmol							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	257	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536
Ammonia (NH₃), $M = 17.03$ kg/kmol							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869

Letak sistem ventilasi pada kapal pelayaran rakyat

LAYOUT SISTEM VENTILASI



MAIN DECK



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Fabriansyah Aprilya Natha Yusufy dengan nama panggilan Fabriansyah, lahir pada tanggal 20 April 1996 di Surabaya Jawa timur. Penulis merupakan anak ke dua dari bapak Guthe Suryanata dan ibu Retno Endah. Penulis mempunyai satu kakak kandung yang bernama Merlyn Intan dan satu adik kandung yang bernama Revaldy Putra. Pendidikan terakhir penulis telah menyelesaikan program diploma III di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan Jurusan Teknik elektro. Setelah lulus program diploma penulis melanjutkan kuliah sarjana di Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Kelautan (FTK) Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama di bangku perkuliahan penulis menjadi anggota laboratorium *Marine Fluide and Machinery System (MMS)*.

Fabriansyah Aprilya Natha Yusufy

NRP: 0421174600031

Fabriansyah.aprilya@gmail.com