



KALPIKA

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 4, Nomor 1, Februari 2022

Kis Yoga Utomo¹, Dandi Ardiansyah²

Analisis Perbandingan Diameter Piringan Cakram Yang Bervariasi Terhadap Jarak Dan Waktu Pengereman Pada Kendaraan Sepeda Motor Supra X 125.

Eddy Djatmiko¹, Eka Maulana², Abdul Hadi³

Perancangan sistem instalasi *biodigester* kapasitas 2000 liter.

Fadhli Aulia Syukri¹, Budhi M. Suyitno²

Analisis Pengaruh Nanofluida Titanium Dioksida (TiO₂) Terhadap Kinerja Fluida Dasar Pada Perpindahan Panas Pada Alat Penukar Panas Pipa Ganda

Denny Prumanto.¹, Dedy Krisbianto², Aries Munandar³

Analisis desain cooling coil unit ahu, studi kasus pada pt. Global multi pharmlab

Dedy Krisbianto¹, Arianto Herbang Silalahi²

Analisis Ketahanan Umur Pemakaian Ban Pada Mobil Penumpang Jenis Sedantipe F30 Dengan Mesin Berkapasitas 1998cc

Jenni Ria R

Analisis Teknologi Filter Air Sederhana dan Teknik Pemeliharaan yang Layak Pakai

J. KALPIKA	VOL.4	N0.1	HAL 1-86	Jakarta Februari 2022	ISSN 18297552
-------------------	--------------	-------------	-----------------	----------------------------------	--------------------------



KALPIKA

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 4, Nomor 1, FEBRUARI 2022

STAF REDAKSI

Penasihat	: Dr. Harjono Padmono Putro, S.Kom., M.Kom
Ketua	: Ir. JP. Damanik, M.Si
Penyunting	: Prof . Dr. Ir. Bambang Teguh P, DEA Dr. Didit S. R, MM Dr. Suwanda, ST., MT Ir. Muchayar, MT Chotim Subandi, S Kom, MT Nur Azis, S Kom, M Kom
Penyunting Pelaksana	: Afri Sujarwanto, ST Andika, ST
Sekretariat	: Satrio Y, ST Sutarto

Alamat redaksi

Universitas Krisnadwipayana
Kampus Jatiwaringin, Jakarta PO. BOX 7774/Jat.CM
Telp. : 021-846 2229, Fax : 021-84998529
E-mail : Jurnal_kalpika@wowmail.com
Jurnal_kalpika@gmail.com

JAKARTA 13077

DAFTAR ISI

1. Analisis Perbandingan Diameter Piringan Cakram Yang Bervariasi Terhadap Jarak Dan Waktu Pengereman Pada Kendaraan Sepeda Motor Supra X 125
Oleh : Kis Yoga Utomo¹, Dandi Ardiansyah² 1 - 6
2. Perancangan sistem instalasi *biodigester* kapasitas 2000 liter.
Oleh : Eddy Djatmiko¹, Eka Maulana², Abdul Hadi³ 7 - 17
3. Analisis Pengaruh Nanofluida Titanium Dioksida (TiO₂) Terhadap Kinerja Fluida Dasar Pada Perpindahan Panas Pada Alat Penukar Panas Pipa Ganda
Oleh : Fadhli Aulia Syukri¹, Budhi M. Suyitno² 18 -25
4. Analisis desain cooling coil unit ahu, studi kasus pada pt. Global multi pharmlab
Oleh : Denny Prumanto.¹, Dedy Krisbianto ², Aries Munandar³ 26 - 41
5. Analisis Ketahanan Umur Pemakaian Ban Pada Mobil Penumpang Jenis Sedantipe F30 Dengan Mesin Berkapasitas 1998cc
Oleh : Dedy Krisbianto ¹, Arianto Herbang Silalahi² 42 - 57
6. Analisis Teknologi Filter Air Sederhana dan Teknik Pemeliharaan yang Layak Pakai
Oleh : Jenni Ria R 58 - 68

Dari Redaksi

Ulang tahun adalah sinar matahari. Begitulah sering dikatakan orang-orang bijak maksudnya, beranjak dari ulang tahun, masa depan diharapkan akan senantiasa bersinar-sinar seperti matahari.

Akan tetapi , sinar matahari “terpaksa” harus kami lihat secara berbeda , dalam kaitan dengan ulang tahun pertama *kalpika*. Sinar matahari bagi kami, adalah simbol sumber energi yang, oleh karena itu, harus kami mentaatkan seefektif dan seefisien mungkin, sinar matahari sebagai symbol, kami para pengurus *kalpika*. ingin terus menerus berenergi alias bersemangat untuk menghadirkan *kalpika* kepada anda tepat pada waktunya melalui simbol matahari, berangkat dari ulang tahun pertama, *kalpika* ingin bertedak senantiasa mengunjungi anda. bukan malah surut dan kemudian lenyap ditelan waktu.

Kalpika, sebagai jurnal yang bervisi sebagai wadah unggulan penelitian (dalam makna luas), mengenai teknik dunia permesinan, setidaknya sudah mengawali kiprahnya melalui sajian naskah yang bervariasi (namun tetap terikat oleh visinya), mulai dari penelitian murni empirik hingga penelitian yang bersifat terobosan filosofis. Hingga tahun pertama kelahirannya, *kalpika* pun sudah membuktikan konsistennya pada jadwal terbit. Hal ini, tentu saja berkat hubungan baik dengan relasi-relasi kami, terutama para kontribusi naskah. Oleh karena itu, dalam rangkamenjelang hari ulang tahun pertama *kalpika*, kami ingin mengucapkan terimakasih para relasi kami itu, termasuk juga kepada Anda, para pembaca.

Ulang tahun adalah sinar matahari. Ungkapan orang-orang bijak, dalam kaitan ini, akan kami jadikan simbol mengenai sinar matahari yang setia mengunjungi kita setiap pagi. Kami pun akan berupaya setia mengunjungi Anda sesuai jadwal, Kontaklah terus kami, berilah kami masukan konstruktif, sehingga kesetiaan kami senantiasa terjaga.

Selamat membaca (Red)

PANDUAN BAGI PENULIS JURNAL KALPIKA (Judul 12pt)

Nama penulis tanpa disertai gelar (10 pt)

Ringkasan (Abstrak) (11 pt)

Naskah asli yang dikirim penulis akan langsung dicetak sebagai Isi Jurnal Kalpika untuk menjamin keseragaman dan kelancaran proses pencetakan, serta format naskah. Panduan ini sebagai acuan yang diperlukan untuk penulisan dan pengiriman naskah jurnal kalpika. Panduan ini ditulis sebagai format baku jurnal kalpika dan dapat dijadikan contoh bagi penulis!

Kata kunci : panduan, naskah, format, judul

1. Pengiriman naskah (10pt), abstrak (11pt) dan naskah (11 pt) dicetak dengan huruf “ times newroman “dengan jarak 1 spasi.
 - a. Naskah asli dikirim ke dewan redaksi jurnal kalpika harus dalam bentuk siap cetak dan dilampiri pernyataan bahwa naskah tersebut belum dipublikasikan di media manapun.
 - b. Judul ke nama penulis jarak 2 spasi
 - c. Nama penulis ke abstrak 2 spasi
2. Penulisan makalah
 - 2.1 jumlah suku kata

Jumlah keseluruhan suku kata dari naskah jurnal minimal 3600 dan maksimal 4800 suku kata
 - 2.2 isi dari Jurnal
 - a. judul
 - b. abstrak
 - c. latar belakang
 - d. landasan teori
 - e. metodologi penelitian (bagan alir penelitian)
 - f. pembahasan (lampirkan table & grafik)
 - g. kesimpulan
 - h. daftar pustaka
 - 2.3 tata letak

naskah dibuat pada kertas ukuran A4. Dengan format sebagai berikut :

 - a. margin atas dan bawah 3 cm
 - b. margin kiri dan kanan 3 cm
 - c. badan naskah dibuat 2 kolom kecuali judul dan abstrak
 - 2.4 Huruf Dan Spasi
 - a. judul dicetak tebal (12pt), nama penulis dicetak tebal (10 pt), nama institusi penulis & alamat email
- 2.5 Tata cara penulisan
 - a. Judul sub bagian diberi penomoran dan dicetak tebal
 - b. Abstrak dibuat boleh 2 bahasa (inDonesia & Inggris)
 - c. Bahasa yang digunakan bahasa Indonesia
 - d. Penulisan bahas asing dimiringkan
 - e. Satuan yang digunakan hendaknya menggunakan satuan internasional (SI)
 - f. Penulisan rumus atau perhitungan diberi ket (pers 1....dst)
 - g. Keterangan table dibuat diatas tabel (11pt), posisi sejajar kiri dan diberi ket (table 1....., dst)
 - h. Keterangan gambar dibuat dibawah gambar (11pt) dan posisi ditengah (gambar 1....., dst)
 - i. Daftar pustaka ditulis berdasarkan urutan Abjad dengan urutan sumber buku ber ISBN diikuti Jurnal dan terakhir sumber dari internet.

ANALISIS PERBANDINGAN DIAMETER PIRINGAN CAKRAM YANG BERVARIASI TERHADAP JARAK DAN WAKTU Pengereman PADA KENDARAAN SEPEDA MOTOR SUPRA X 125

Kis Yoga Utomo¹, Dandi Ardiansyah²

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Krisnadwipayana
Jl. Jatiwaringin, Pondok Gede, Bekasi 1340

ABSTRAK

Peneliti melakukan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh model cakram terhadap jarak dan waktu pengereman. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Eksperimen. Yang diuji adalah jarak dan waktu pengereman. Dengan menggunakan alat uji pengereman. Piringan yang digunakan adalah model A diameter 22 mm, model B diameter 280 mm. Hasil penelitian yang di dapat adalah model A memiliki jarak dan waktu pengereman terbaik. Pada kecepatan 20 km/jam dengan tekanan pengereman 30 bar menghasilkan jarak pengereman 2.36 meter dan waktu pengereman 2.2 detik. Pada kecepatan 30 km/jam dengan tekanan pengereman 30 bar menghasilkan jarak pengereman 2.78 meter dan waktu pengereman 3.3 detik. Pada kecepatan 40 km/jam dengan tekanan 30 bar menghasilkan jarak pengereman 2.95 meter dan waktu pengereman 4.3 detik.

Kata kunci : *Diameter Cakram, Jarak Pengereman, Waktu Pengereman, dan Sepeda Motor.*

1. Latar belakang

Rem cakram adalah perangkat pengereman yang digunakan pada kendaraan moderen. Rem ini bekerja dengan menjepit cakram yang biasanya di pasang pada roda kendaraan, untuk menjepit cakram digunakan *caliper* yang digerakan oleh piston untuk mendorong sepatu rem (*brake pads*) ke cakram. Rem jenis ini sering digunakan pada kendaraan sepeda motor dan mobil. Komponen utama adalah piringan cakram komponen berbentuk lingkaran yang bervariasi yang dihubungkan dengan roda kendaraan. Piringan ini terbuat dari besi solid sehingga kuat digunakan untuk bergesekan dengan kampas rem.

Kelebihan dan kekurangan pada rem cakram: kelebihannya adalah memiliki bentuk yang sederhana sehingga cocok untuk kendaraan kecil, daya pengereman mencapai 100% karena metode yang digunakan adalah jepitan. Kekurangannya adalah dengan model terbuka *caliper* berpotensi kemasukan kotoran yang bisa merusak *caliper*.

Ada banyak cara untuk memaksimalkan pengereman diantaranya

dengan memperhatikan model variasi pada piringan cakram. Model variasi piringan cakram diduga berpengaruh terhadap parameter pengereman yaitu pada waktu pengereman, perlambatan, dan jarak pengeremannya. Parameter ini belum ada yang meneliti maka dengan alasan inilah peneliti untuk meneliti.

Untuk mengoptimalkan rem ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu menentukan jarak dan waktu pengereman. Maka dari itu saya tertarik untuk meneliti, Padahal proses pengereman yang merupakan perubahan energi mekanik menjadi panas, proses transfer panasnya dilakukan oleh piringan. namun belum ada penelitian yang secara khusus meneliti mengenai piringan cakram.

Untuk menentukan jarak dan waktu pengereman peneliti harus mengetahui gaya yang ada dalam sistem pengereman yaitu gaya aksial dan radial, apa itu gaya aksial adalah gaya yang bekerja terhadap penampang potong atau sejajar dengan sumbu batang mengakibatkan elemen batang mengalami pergesekan. Sedangkan gaya radial adalah gaya yang bekerja secara tegak lurus dengan sumbu poros, gaya

radial biasanya muncul akibat dari adanya mekanisme perputaran dalam suatu komponen mekanik.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka peneliti ini mengambil judul :“Analisis Perbandingan Diameter Piringan Cakram yang Bervariasi Terhadap Jarak dan Waktu Pengereman pada Kendaraan Sepeda Motor Supra X 125”

2. Perumusan Masalah

Berikut ini adalah perumusan masalah yang berkaitan dengan lapotan tugas akhir “Analisis Perbandingan Diameter Piringan Cakram yang Bervariasi Terhadap Jarak dan Waktu Pengereman pada Kendaraan Sepeda Motor Supra X 125 “. Berdasarkan uraian di latar belakang, maka dapat dijabarkan perumusan masalah :

- a. Apakah perbedaan diameter Piringan Cakram akan mempengaruhi jarak dan waktu pengereman pada kendaraan Sepeda Motor Supra X 125.
- b. Berapakah diameter yang optimal pada piringan Cakram yang akan mempengaruhi jarak dan waktu pengereman pada kendaraan Sepeda Motor Supra X 125.

3. Batasan Masalah

Agar penelitian yang akan dilakukan tidak terlalu menyimpang dan terlalu luas maka perlu adanya pembatasan masalah, antara lain:

- a. Pengujian yang di gunakan adalah perbandingan piringan cakram yang bervariasi.
- b. Kecepatan pengujian yang di lakukan adalah 20 km/jam, 30 km/jam, dan 40 km/jam.
- c. Tekanan pengereman yang diberikan tiap kecepatan adalah 10 bar, 20 bar, dan 30 bar.
- d. Pengujian di lakukan dengan alat uji pengereman yaitu sepeda motor Supra X 125 dengan menggunakan rem cakram depan.

4. Metode Penelitian

Penyusunan laporan tugas akhir “Analisis Perbandingan Diameter Piringan Cakram yang Bervariasi Terhadap Jarak dan

Waktu Pengereman pada Kendaraan Sepeda Motor Supra X 125 “, menggunakan beberapa macam metode penelitian. penggunaan metode penelitian ini bertujuan agar data yang dikumpulkan mampu mendukung dalam penulisan laporan tugas akhir. metode penelitian tersebut diantaranya sebagai berikut :

- a. Metode Penelitian Teoritis (Studi kepustakaan)
- b. Metode Penelitian Rekayasa (Analisis atau Perhitungan)
- c. Metode Penelitian Eksperimental (pengujian laboratorium)

5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari laporan tugas akhir dengan judul “Analisis Perbandingan Diameter Piringan Cakram yang Bervariasi Terhadap Jarak dan Waktu Pengereman pada Kendaraan Sepeda Motor Supra X 125 “, yaitu :

- a. Untuk memenuhi salah satu persyaratan kurikulum untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Krisnadwipayana.
- b. Mengetahui piringan cakram manakah yang menghasilkan jarak pengereman terbaik.
- c. Mengetahui piringan cakram manakah yang paling baik.
- d. Mengetahui piringan cakram manakah yang menghasilkan nilai perlambatan terbaik.

6. Pengertian Sistem Pengereman

Tujuan di pasang rem pada kendaraan untuk menuruti kemauan pengemudi dalam mengurangi kecepatan, berhenti atau memarkir kendaraan pada jalan yang mendaki, dengan kata lain melakukan kontrol terhadap kecepatan kendaraan untuk menghindari kecelakaan dan merupakan alat pengaman yang berguna untuk menghentikan kendaraan secara bersekala. Menurut (Daryanto, 2004 : 170) mengatakan bahwa rem merupakan bagian terpenting pada kendaraan saat kita berada di jalan yang padat atau ramai maupun jalan yang kurang kendaraan.

Peralatan ini sangat penting pada kendaraan dan berfungsi sebagai alat keamanan dan menjamin keamanan pengendara. Fungsi

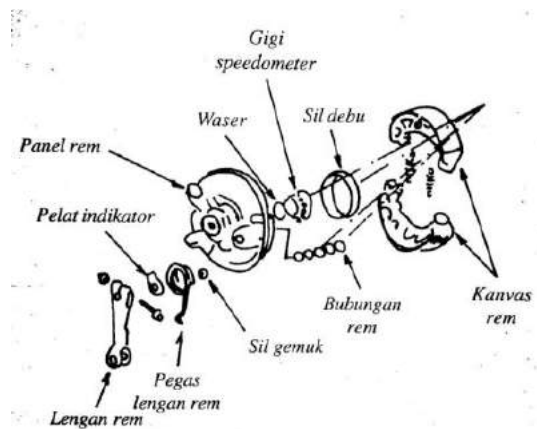
rem pada kendaraan adalah untuk memperlambat dan menghentikan kendaraan dalam jarak dan waktu yang memadai dengan cara terkendali dan terarah.

Kendaraan tidak dapat berhenti dengan segera apabila mesin di bebaskan (tidak dihubungi) dengan pemindah daya, kendaraan cenderung tetap bergerak. Kelemahan ini harus dikurangi yang bertujuan untuk menurunkan kecepatan gerak kendaraan hingga berhenti dengan menggunakan rem. Prinsip sistem pengereman adalah perubahan energi kinetik menjadi energi panas untuk menghentikan putaran roda kendaraan. Sistem rem yang baik adalah sistem rem yang jika dilakukan pengereman baik dalam kondisi apapun pengemudi tetap dapat mengendalikan arah dari laju kendaraannya.

Klasifikasi Pengereman

a. Rem tromol

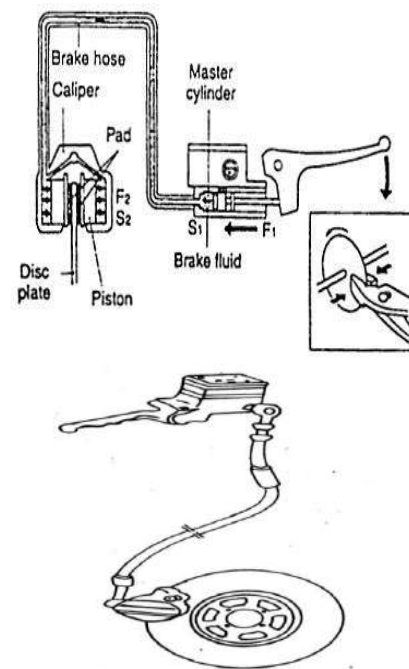
Rem tromol terdiri dari sepasang kampas rem yang terletak pada *backplate* yang tetap (tidak ikut berputar bersama tromol) roda). Pada rem tromol pengereman diperoleh dari kampas rem yang menekan tromol bagian dalam yang berputar bersamaan dengan roda. Pada saat tuas rem tidak ditekan sepatu rem dengan tromol tidak saling kontak, tetapi pada saat tuas rem ditekan lengan rem memutar cam pada sepatu rem sehingga kampas rem menjadi mengembang dan bergesekan dengan tromol yang mengakibatkan putaran tromol melambat dan berhenti. Gesekan antara kampas rem dan tromol dipengaruhi oleh temperatur kampas rem tersebut, gesekan akan berkurang dan gaya pengereman ikut menurun ketika kampas rem menjadi panas. Tromol dapat dibersihkan dari debu dan kotoran.



Gambar 1. Rem Tromol

b. Rem Cakram

Rem cakram atau rem piringan terdiri dari master rem, *caliper*, dan piringan. piringan bisa di buat padat atau dengan memakai lubang pendingin di bagian tengahnya, untuk menjepit piringan rem cakram menggunakan tekanan *hydraulic*, agar dapat menghasilkan pengereman yang cukup kuat dan efisien (Honda Technical Service, 2000 : 178).



Gambar 2. Bagian Utama Komponen Sistem Rem Cakram

Sistem rem cakram mempunyai komponen – komponen penting yang saling berhubungan antara komponen satu dan komponen yang lainnya. Bila salah satu komponen mengalami kerusakan maka akan berpengaruh pada kerja sistem rem cakram tersebut. Komponen – komponen rem cakram yaitu : tuas rem, master silinder, *Caliper*, kampas rem dan piringan.

7. Waktu dan Jarak Pengereman

Waktu pengereman merupakan suatu perhitungan yang dihasilkan dari sistem rem yang bekerja pada kendaraan. Waktu pengereman sangatlah penting efeknya terhadap jarak pengereman dan keamanan pengendara. Jika suatu rem memiliki daya cengkram yang baik, maka butuh waktu pengereman yang singkat dan jarak pengereman yang pendek hingga kendaraan tersebut berhenti dari lajunya. Tetapi jika suatu rem telah habis bagian kanvas remnya akan membuat daya cengkram pengereman berkurang dan menghasilkan waktu pengereman yang lebih lambat dan jarak pengereman yang jauh. Kinerja dari suatu alat pengereman didasarkan pada jarak berhenti dari uji pengereman. Jarak berhenti adalah jarak yang dicapai oleh kendaraan dari saat ketika pengemudi memulai menggerakkan pengendali sistem pengereman sampai saat ketika kendaraan berhenti.

Gerak lurus berubah beraturan (GLBB) adalah gerak benda dalam lintasan garis lurus dengan percepatan tetap. Jadi ciri utama GLBB adalah bahwa dari waktu ke waktu kecepatan benda berubah, semakin lama semakin cepat. Dengan kata lain gerak benda dipercepat. Namun demikian, GLBB juga dapat berarti bahwa dari waktu ke waktu kecepatan benda berubah, semakin lambat hingga akhirnya berhenti. Dalam hal ini benda mengalami perlambatan tetap.

Perhitungan waktu pengereman dapat dihitung dengan menggunakan rumus persamaan GLBB sebagai berikut :

$$V_t = V_o + a . t$$

Persamaan kecepatan GLBB

$$s = V_o . t + \frac{1}{2} . a . t^2$$

Persamaan jarak GLBB

$$V_t^2 = V_o^2 + 2 . a . s$$

Persamaan kecepatan sebagai fungsi jarak.

Dimana yang diketahui adalah sebagai berikut :

V_o = kecepatan awal (m/s)

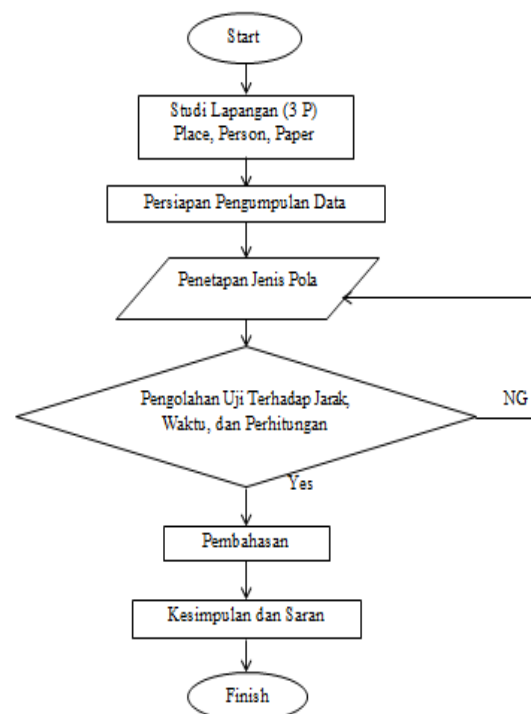
V_t = kecepatan akhir (m/s)

a = perlambatan (m/s^2)

t = selang waktu (s)

s = jarak yang di tempuh(m)

8. Prosedur Penelitian



Gambar 3. Diagram alir penelitian

a. Pengujian Rem Cakram

Pada pengujian cakram ini dilakukan dengan cara memasang benda uji (piringan cakram) dan *pressure gauge* sebagai tekanan pengereman, tekanan pengereman yang digunakan dalam pengujian ini yaitu 10 bar, 20 bar, dan 30 bar. Setelah keduanya terpasang

maka jalankan kendaraan sepeda motor, atur kecepatan sepeda motor dengan kecepatan yang telah ditentukan yaitu 20 km/jam, 30 km/jam, dan 40 km/jam. Setelah kendaraan sepeda motor mencapai kecepatan yang diinginkan maka injakan rem di injak dengan tekanan pengereman yang ditentukan bersamaan dengan pengoperasian *stopwatch* sampai sistem kendaraan sepeda motor berhenti, mencatat berapa waktu yang ditunjukkan pada saat kendaraan sepeda motor berhenti dan mencatat berapa jarak berhenti pada kendaraan mulai melakukan awal pengereman hingga kendaraan berhenti.

Tabel 1. Hasil Pengujian Jarak Pengereman

Kecepatan (km/jam)	Tekanan (bar)	Jarak (meter)	
		Model A	Model B
20	10	5.50	5.86
	20	4.58	4.87
	30	2.36	2.53
30	10	6.48	6.66
	20	5.45	5.79
	30	2.78	2.98
40	10	6.75	6.85
	20	5.67	5.80
	30	2.95	3.23

Tabel 2. Hasil Pengujian Waktu Pengereman

Kecepatan (km/jam)	Tekanan (bar)	Waktu (detik)	
		Model A	Model B
20	10	4.2	4.8
	20	3.3	3.6
	30	2.2	2.6
30	10	5.4	6.1
	20	4.5	5.5
	30	3.3	3.8
40	10	6.5	7.4
	20	5.8	6.7
	30	4.3	4.8

b. Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan dari proses pengujian kemudian akan dianalisis untuk memperoleh hasil akhir yang akan digunakan sebagai tingkat pembeda dari satu sampel dengan sampel lain yang ditunjukkan dari indikator-indikator penelitian yang telah ditetapkan. Langkah selanjutnya adalah dengan menganalisis hasil penelitian tersebut dari segi teoritis yang akan memperkuat berbagai argumen dan hipotesis yang telah diajukan dalam penelitian. Dalam menganalisis data pengereman terhadap jarak dan waktu pengereman, alat yang digunakan adalah sepeda motor Honda Supra X 125. Dalam pengujian ini peneliti mengambil data secara maksimal. Peneliti mengatur kecepatan sepeda motor yang dibutuhkan dan melakukan pengereman pada kecepatan yang telah sesuai, sehingga dapat mengetahui jarak dan waktu pengereman terjadi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perbandingan antara diameter piringan cakram terhadap waktu dan jarak pengereman pada kendaraan sepeda motor di jalan.

Pengujian dilakukan pada sistem pengereman dengan rem depan saja menurut SNI, menggunakan motor Honda Supra X 125 dengan berat sepeda motor 103 kg ditambah dengan berat pengemudi 60 kg. Model *caliper* cakram untuk pengujian yaitu model *double piston* untuk rem depan.

Standar pengereman dalam pengujian ini menurut SNI (standar nasional indonesia) dengan menggunakan persamaan dimana S adalah jarak dan V adalah kecepatan. Kecepatan yang digunakan adalah 20 km/jam, 30 km/jam, 40 km/jam.

pada pengujian ini dilakukan untuk menentukan nilai perlambatan suatu pengereman pada kecepatan 20 km/jam, 30 km/jam, 40 km/jam dengan tiap – tiap masing kecepatan diberi beban dengan tekanan 10 bar, 20 bar, 30 bar. Berikut ini adalah nilai perlambatan pada model piringan cakram.

Tabel 3. Hasil Pengujian Nilai Perlambatan

Kecepatan (m/s)	Tekanan (bar)	Perlambatan (m/s^2)	
		Model A	Model B
20	10	-1,33	-1,16
	20	-1,69	-1,55
	30	-2,52	-2,14
30	10	-1,55	-1,37
	20	-1,86	-1,64
	30	-2,53	-2,20
40	10	-1,71	-1,51
	20	-1,92	-1,66
	30	-2,59	-2,32

5.1

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Model A mempunyai nilai perlambatan pada kecepatan 20 km/jam dengan tekanan 30 bar $-2,52 m/s^2$, pada kecepatan 30 km/jam dengan tekanan 30 bar $-2,53 m/s^2$, pada kecepatan 40 km/jam dengan tekanan 30 bar $-2,59 m/s^2$.

Model B mempunyai nilai perlambatan pada kecepatan 20 km/jam dengan tekanan 30 bar $-2,14 m/s^2$, pada kecepatan 30 km/jam dengan tekanan 30 bar $-2,20 m/s^2$, pada kecepatan 40 km/jam dengan tekanan 30 bar $-2,32 m/s^2$.

Dilihat dari nilai perlambatan yang didapat maka model piringan A yang mempunyai nilai perlambatan yang cukup maksimal, karena didalam nilai perlambatan apabila bernilai negatif (-) merupakan perubahan nilai kecepatan yang lebih kecil atau bisa dikatakan kecepatan akhirnya berkurang.

2. Dilihat dari hasil percobaan jarak dan waktu pengereman yang saya lakukan maka disimpulkan diameter yang paling optimal pada piringan cakram adalah 220 mm.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian penulis menyarankan :

1. Agar dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan kedua rem diantaranya rem cakram dan rem tromol, tekanan pengeremannya bervariasi antara rem cakram dan rem tromol.
2. Agar menambahkan jumlah piringan cakram yang akan diteliti dan mempunyai diameter berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Asnal Effendi. 2010. *Fisika 1*. Padang : ITP
- Astra Honda Motor PT. 2000. *Honda Technical Service*. Jakarta : Astra Honda Motor, PT.Astra Honda Training Center.
- Daryanto. 2004. *Teknik Sepeda Motor*. Bandung : CV.Yrama Widya.
- Sularso. 2013. *Dasar Perancangan dan Pemeliharaan Elemen Mesin*. Bandung : PT. Pradnya Paramita.
- Toyota Astra Motor PT. 2012. *New Step 1 Training Manual*. Jakarta : Toyota PT.Astra Motor Training Center.

PERANCANGAN SISTEM INSTALASI *BIODIGESTER* KAPASITAS 2000 LITER

Eddy Djatmiko^{1*}, Eka Maulana^{2*}, Abdul Hadi³

¹Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta, 12640

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta, 12640

ABSTRAK

Penelitian tugas akhir ini memiliki beberapa rumusan masalah yaitu, bagaimana tahapan perancangan, dan desain, serta apa saja parameter, komponen, dari sistem instalasi biodigester kapasitas 2000 liter. Maka dari itu, tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan rancangan sistem instalasi biodigester kapasitas 2000 liter. Biodigester adalah suatu sistem yang berfungsi untuk menghasilkan biogas dari bahan organik, yang dimana biogas ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif pengganti gas bahan bakar minyak (BBM) terutama gas Liquefied petroleum gas (LPG). Pada proses penelitian ini digunakan metode perancangan Pahl & Beitz, yang kemudian menghasilkan 3 varian konsep biodigester kapasitas 2000 liter, dimana varian 3 kemudian tereleminasi melalui tahap selection chart, dan pada proses pembobotan, varian satu mendapat poin sebesar 4,2 dan varian 2 mendapatkan poin sebesar 4,78. Kemudian varian 2 terpilih untuk dilanjutkan ke fase selanjutnya. Dari hasil analisa data perhitungan produksi biogas dengan HRT selama 30 hari didapat Biodigester mampu menghasilkan biogas sebesar 0,5065 m³/hari atau sekitar 506,5 liter/hari dengan tekanan hidrostatik yang bekerja pada reaktor sebesar 9,6510 x 10³ N/m² dan nilai safety factor 4,9. Lalu untuk analisa beban pada dudukan dengan material AISI 1045 didapatkan nilai safety factor sebesar 46. Maka dudukan aman untuk digunakan.

Kata kunci: Biodigester, Pahl & Beitz, Biogas, Slurry

1. Pendahuluan

Gas merupakan salah satu sumber energi yang sangat umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti memasak maupun memanaskan air. Namun seiring berjalannya waktu konsumsi energi minyak sangat tinggi, maka terjadilah kelangkaan bahan bakar minyak yang dapat menyebabkan kenaikan harga bahan bakar minyak secara signifikan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka dimanfaatkanlah energi alternatif, salah satunya yaitu Biogas.

Biogas adalah gas yang berasal dari bahan – bahan organik, seperti limbah rumah tangga, limbah pasar, maupun limbah ternak. Dengan banyaknya limbah pasar dan sangat kecil upaya

pemanfaatan dari limbah tersebut. Berdasarkan data statistika Indonesia, berton – ton sampah di Indonesia bertambah setiap tahunnya, Maka salah satu upaya pemanfaatannya adalah dengan dijadikan sumber energi berupa biogas yang dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari dengan menggunakan alat yang disebut dengan *Biodigester*.

Berdasarkan rancangan *biodigester* yang sudah ada yang lebih spesifik yaitu rancangan *biodigester* yang ada di kampus Universitas Pancasila memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Kapasitas 1000 liter
- Menggunakan penyimpanan gas dengan media balon

- Menggunakan 1 tangki yaitu reaktor

Setelah dilakukan analisa terhadap rancangan tersebut, didapat beberapa kekurangan yaitu:

- Kapasitas yang kurang mumpuni, dimana untuk 1000 liter biodigester jika dilakukan perhitungan produksi biogas dengan HRT sebesar 30 hari hanya akan menghasilkan $\pm 200-350$ liter biogas per hari, dimana kurang mencukupi untuk digunakan sehari-hari.
- Penggunaan media penyimpanan balon dengan penggunaan rangka logam sebagai penopangnya memiliki resiko terjadinya gesekan antara balon dan rangka yang dimana dapat memicu terjadinya kebocoran pada balon, dan menyebabkan terbuangnya biogas yang mudah menguap dan dapat berbahaya jika tersulut percikan api.
- Penggunaan 1 tangki kurang efektif jika untuk pemakaian terus menerus, dimana tidak dapat dilakukan sistem batch dalam penggantian *slurry* dan jika terjadi kerusakan (Kebocoran) pada tangki tersebut maka proses produksi biogas langsung terhenti karena tidak ada tangki lain yang dapat berfungsi sebagai *backup* sementara.

Maka dari itu diperlukan kembali penelitian terhadap rancangan *biodigester* agar dapat

memenuhi kebutuhan pengguna dan menyelesaikan permasalahan yaitu kekurangan yang sudah ada.

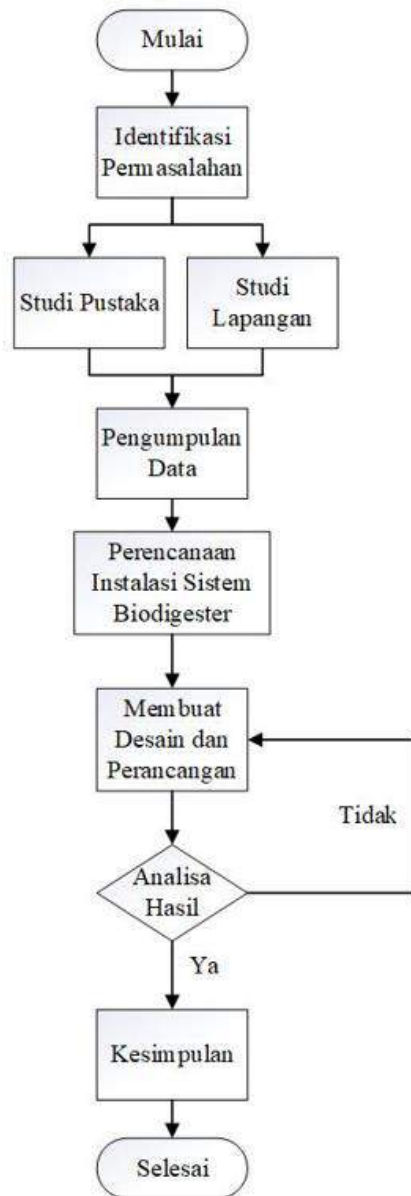
2. Metodologi

Perancangan adalah langkah pertama dari sebuah rangkaian prosedur dalam proses pembuatan sebuah produk yang bertujuan untuk memudahkan dalam proses perancangan dan memudahkan dalam mengembangkan ide rancangan. Dalam proses pembuatan sebuah produk, diperlukan sebuah gambaran yang berfungsi sebagai langkah-langkah dalam pengerjaan. Gambaran tersebut dapat berupa diagram alir dalam proses perancangan. Metode Pahl and Beitz merupakan salah satu metode perancangan yang memiliki 4 fase atau langkah, sebagaimana dengan buku yang ditulis sendiri oleh Pahl dan Beitz yaitu, *Engineering Design : A Systematic Approach*. Dimana keempat fase tersebut diantaranya adalah :

- a. Perencanaan Produk dan Penjelasan Tugas
- b. Perancangan Konsep Produk
- c. Perancangan Bentuk Produk
- d. Perancangan Detail Produk

Dimana pada setiap fase tersebut akan diakhiri oleh hasil fase yang dimana hasil tersebut dapat menjadi input untuk fase berikutnya atau feedback untuk fase sebelumnya.

Berikut diagram alir penelitian yang digunakan



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

pada penelitian ini :

2.1. Perencanaan Produk dan Penjelasan tugas

Langkah pertama yang dilakukan dalam mengumpulkan data dan informasi mengenai rancangan sistem instalasi *biodigester* dengan kapasitas 2000 liter yang sesuai dengan kebutuhan konsumen. Dengan cara membagikan kuisioner yang dibagikan melalui format google form. Berdasarkan hasil dari kuisioner yang telah dibagikan dan telah diisi oleh 35 responden, didapatkan persyaratan dan kebutuhan perancangan sistem instalasi *biodigester* dengan kapasitas 2000 liter, yang kemudian didata kembali dalam format tabel sebagai berikut :

No	Kebutuhan	Nilai Kepentingan
1	Efisiensi waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan biogas	○○○
2	Kapasitas Penyimpanan Besar	○○○
3	Mudah dalam pengisian bahan baku	○○
4	Penghancur limbah organik (Bahan Baku) yang sederhana	○○○
5	Sumber daya yang digunakan hemat	○○

Keterangan :

- = Sangat Penting
- = Penting
- = Perlu

Lalu untuk data selanjutnya yaitu menyiapkan daftar dari spesifikasi produk dan mengkategorikannya atas 2 kategori yaitu,

No	Aspek	D/W
1	Geometri	
	- Konstruksi kokoh dan kuat - Dimensi Proporsional	D D
2	Kinematika	
	- Biodigester mudah untuk dioperasikan - Biodigester aman dioperasikan	D W
3	Material	
	- Banyak di pasar dan mudah ditemukan - Harga material relatif murah	D W
4	Manufaktur	
	- Proses manufaktur sistem biodigester sangat cepat	W
5	Perawatan	
	- Biaya maintenance murah - Mudah untuk membersihkan komponen	D D
6	Aplikasi	
	- Efisiensi waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan biogas	D
	- Hemat dalam menggunakan energi	D
	- Umur dari alat lama atau tingkat depresiasi rendah	D

keharusan (*demand*) dan keinginan (*Wishes*).

2.2. Perancangan konsep produk

Pada tahapan ini adalah menyusun diagram fungsi yang akan digunakan pada proses perancangan sistem instalasi biodigester dengan kapasitas 2000 liter.

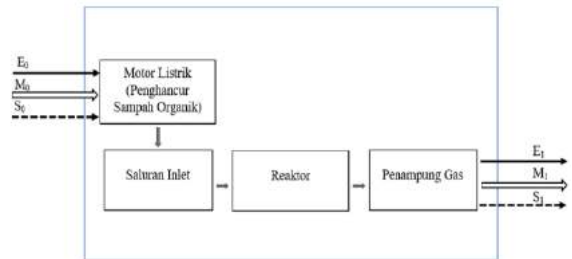
a. Blok Fungsi

Biodigester sendiri memiliki fungsi utama yaitu mengubah limbah organik menjadi biogas, berikut sistem kerja Biodigester dalam bentuk diagram :



b. Struktur sub fungsi

Selanjutnya blok fungsi dari sistem instalasi *biodigester* dengan kapasitas 2000 liter lebih dijabarkan menjadi sub-sub fungsi yang lebih detail, dengan metode struktur sub fungsi sebagai berikut :



Dapat dilihat dari struktur sub fungsi diatas, dimana Sistem Instalasi *Biodigester* Kapasitas 2000 liter menggunakan bahan baku berupa limbah organik dengan menghasilkan biogas serta pupuk basah sebagai outputnya. Dalam proses pengerjaannya, digunakan mesin penghancur/pencacah sampah/limbah organik, yang memerlukan energi input berupa energi listrik karena menggunakan penggerak berupa motor ac, dan dengan energi output berupa energi mekanik (Putaran pisau pecacah sampah organik). Lalu semua material dimasukkan melalui saluran input dan hasil output disimpan pada penyimpanan gas dan untuk pupuk pada tangki output.

No.	Komponen	Alternatif Varian		
		Varian 1	Varian 2	Varian 3
1	Storage Tank			
2	Penggerak			
3	Penghancur limbah organik			
4	Base/Dudukan			
5	Inlet			
6	Valve			
7	Reaktor			

- tersebut bekerja dalam keadaan tanpa oksigen.
- b. Rangka Reaktor
Rangka reaktor berfungsi sebagai pelindung dari tabung reaktor agar tidak mudah terkena pengaruh dari luar seperti goresan ataupun benturan, serta agar memudahkan dalam pemindahannya.
 - c. Inlet reaktor
Inlet reaktor merupakan saluran dimana bahan organik yang sudah menjadi *Slurry* dimasukkan kedalam reaktor, berupa saluran yang langsung terhubung kedalam reaktor itu sendiri
 - d. Tutup Inlet Reaktor
Tutup Inlet reaktor berfungsi untuk menjaga reaktor tetap kedap oksigen ketika proses *Anaerobic Digestion* berlangsung, dan agar tidak ada residu biogas yang keluar dari reaktor.
 - e. Penghancur Organik
Penghancur organik berfungsi untuk mengecilkan substrat dari bahan baku biogas atau bahan organik, agar proses *Anaerobic Digestion* berlangsung lebih cepat.
 - f. Pemurni Biogas
Pemurni Biogas adalah komponen yang berfungsi untuk memurnikan biogas atau gas metana yang dihasilkan dari proses *Anaerobic Digestion* dimana pada prosesnya kandungan karbon dioksida (CO_2), dan hidrogen sulfida (H_2S), dikurangi dengan cara dimasukkan kedalam inlet pemurni biogas, lalu gas metana yang masuk akan disaring menggunakan Pellet Adsorber yang terbuat dari campuran tambang dan kadar NaOH yang tinggi untuk mengurangi atau menurunkan kadar (CO_2) dan (H_2S).
 - g. Storage Tank (Tangki Penyimpanan)
Tangki penyimpanan atau Storage tank merupakan komponen yang berfungsi sebagai wadah penyimpanan biogas hasil dari proses *Anaerobic Digestion* yang telah melalui proses pemurnian pada komponen pemurni biogas, komponen ini berbentuk wadah atau tangki beserta rangkanya yang kedap udara agar biogas tidak keluar, dan memiliki katup untuk keluarnya biogas.
 - h. Inlet Storage Tank & Outlet Biogas Reaktor
Komponen ini merupakan saluran masuknya biogas kedalam tangki penyimpanan, berupa pipa yang dilubangi dan ditutup dengan rapat pada bagian atasnya, kemudian dipasangkan kepada tangki penyimpanan.
 - i. Valve
Outlet Valve merupakan komponen yang berfungsi untuk mengatur keluar masuknya biogas dari tangki penyimpanan. Komponen ini berupa keran yang disambungkan kembali dengan saluran penghubung untuk kemudian disambungkan ke kompor biogas untuk memasak dan komponen lainnya sesuai penggunaan.
 - j. Base/Dudukan
Base merupakan komponen yang berfungsi sebagaiudukan untuk Reaktor dan Tangki Penyimpanan dari sistem Biodigester.

Berikut spesifikasi teknis dari rancangan

No.	Jenis Komponen	Spesifikasi	Jumlah
1	Reaktor	Volume: 1000 liter Dimensi: 1200 x 1000 x 1170 mm Material: HDPE Massa (Kosong): 65 kg Volume Efektif: 750 liter	2 unit
2	Penghancur Organik	Daya: 372.85 watt Dimensi: 150 x 238 mm Material : Stainless Steel Massa: 6kg Kapasitas Pemakanan: 0.73 kg Voltase: 120 V Kecepatan Putaran: 1,725 RPM	1 unit
3	Pemurni Biogas	Dimensi : 0,12 x 0,7 m Kapasitas Adsorber: 5 kg Proses Pemurnian biogas: 4 m ³ /hari Adsorber: Pellet karbon aktif Material: PVC	1 unit
4	Tangki Penyimpanan	Volume: 1000 liter Dimensi: 1200 x 1000 x 1170 mm Material: HDPE Massa (Kosong): 65 kg	1 unit
5	Dudukan	Dimensi: 1200 x 1040 x 293 mm Material: Besi Hollow (40 x 40 x 3 mm) Besi Hollow (80 x 40 x 3 mm) Sambungan: Las SMAW	1 unit

biodigester kapasitas 2000 liter terpilih :

3. Hasil dan Pembahasan

Setelah didapatkan rancangan yang akan digunakan, maka tahap selanjutnya yaitu melakukan analisa dengan metode perhitungan dan simulasi pada komponen yang digunakan, yaitu sebagai berikut :

3.1. Analisis Tekanan Hidrostatik Pada Reaktor

Material yang digunakan pada reaktor adalah *High Density Polyethylene (HDPE)*. Dengan kondisi *slurry* dalam volume efektif

(75%), maka didapat parameter sebagai berikut:

$$\rho_{slurry} : 1311,73$$

$$g: 9,81 \text{ m/s}$$

$$h: 0.75 \text{ m}$$

maka :

$$P = \rho \times g \times h$$

$$P = 1311,73 \times 9,81 \times 0,75$$

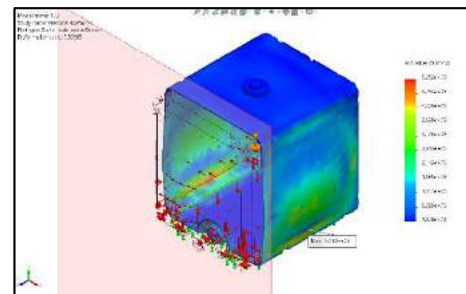
$$P = 9651,05 \text{ N/m}^2$$

$$P = 9,6510 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

Berikut hasil simulasi tekanan hidrostatik pada reaktor *biodigester* :

a. Simulasi Stress

Analisis stress tekanan hidrostatik pada reaktor *biodigester* dengan menggunakan metode *von mises stress*. Untuk mengetahui kekuatan dari reaktor *biodigester* disaat pengoperasian, dengan simulasi



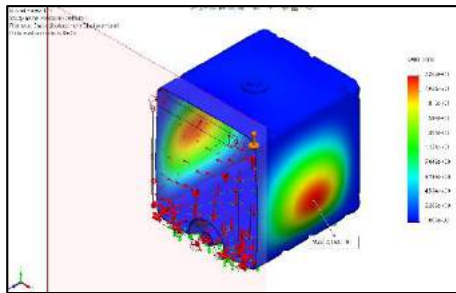
Gambar 2 Stress Reaktor

sebagai berikut :

Didapatkan data hasil pengujian tekanan tipe *von mises stress* pada gambar diatas menggunakan fitur simulasi *solidworks* yang dimana didapatkan nilai maksimum pada grafik yaitu $5,282 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ dengan nilai minimum yaitu $7,408 \times 10^2$.

b. Simulasi displacement

Simulasi *displacement* adalah simulasi yang bertujuan untuk menampilkan nilai pergeseran komponen pada saat diberi tekanan, dimana pada simulasi ini tekanan hidrostatis bersifat ke seluruh penjuru dinding bagian dalam reaktor, maka ada beberapa bagian dari reaktor yang bergeser dari titik awalnya, seperti pada gambar sebagai



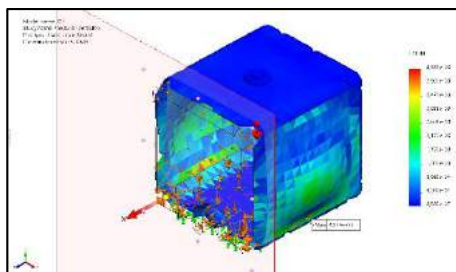
Gambar 3 Displacement Reaktor

berikut :

Dimana pada sisi reaktor terjadi *displacement* maksimum sebesar 22,62 mm

c. Simulasi *Strain*

Simulasi *strain* berfungsi untuk melihat nilai regangan yang terjadi pada komponen Ketika mendapat tekanan hidrostatis, dapat dilihat pada simulasi



Gambar 4 Strain Reaktor

berikut :

dapat dilihat bahwa simulasi *strain* memiliki nilai maksimum sebesar

$4,339 \times 10^{-3}$ dan titik minimum sebesar $8,582 \times 10^{-7}$

d. *Safety Factor*

Untuk menemukan nilai *Safety factor*, dapat dilakukan dengan perhitungan :

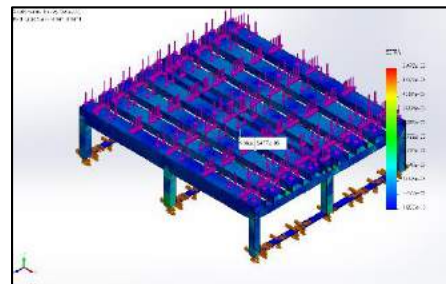
$$\frac{\text{Yield Strength}}{\text{Maximum stress von misses}} = \frac{26,25 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{5,282 \times 10^6 \text{ N/m}^2} = 4,9$$

3.2. Analisis Beban Pada Base Reaktor

Base pada sistem *biodigester* berfungsi untuk dudukan atau tempat diletakkannya tangki maka Ketika reaktor diisi penuh

maka akan mengalami pemberian beban pada dudukan itu sendiri, beban yang diberikan yaitu dengan menjumlahkan massa slurry Ketika penuh dan massa reaktor saat kosong yaitu : 983,79 kg + 65 kg = 1.048,79, lalu dikalikan dengan gaya gravitasi (9,81) maka akan menjadi 10.288,70 N, dari simulasi akan didapat tegangan *von misses*, *displacement*, *strain*, dan *safety factor*.

a. Simulasi *Stress von misses*



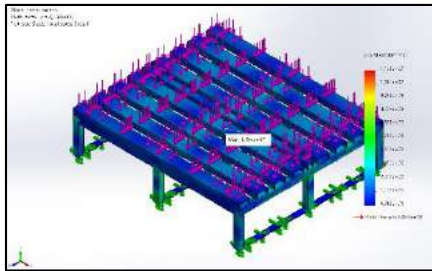
Gambar 5 Stress Dudukan

Simulasi ini berfungsi untuk melihat tekanan maksimum/minimum dan yield strength yang bekerja pada dudukan, dan sesuai dengan material yang bekerja, dapat dilihat seperti pada

gambar dimana nilai maksimum yaitu $1,156 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ dan nilai minimum yaitu 47.46, dengan yield strength sebesar $5,300 \times 10^8$

b. Simulasi *Strain*

Pada simulasi static strain adalah untuk

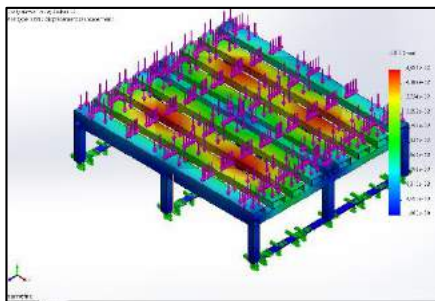


Gambar 6 *Strain Dudukan*

melihat nilai *strain* yang terjadi pada dudukan saat diberi beban, didapatkan data dari hasil simulasi dimana nilai minimum yaitu sebesar $1,805 \times 10^{-10}$ dan nilai maksimum sebesar $5,477 \times 10^{-5}$

c. Simulasi *Displacement*

Simulasi ini bertujuan untuk menemukan nilai perpindahan bagian komponen dari titik awal, dapat terlihat pada gambar dimana nilai minimum berkisar antara 1×10^{-30} dengan nilai maksimum sebesar 4,655

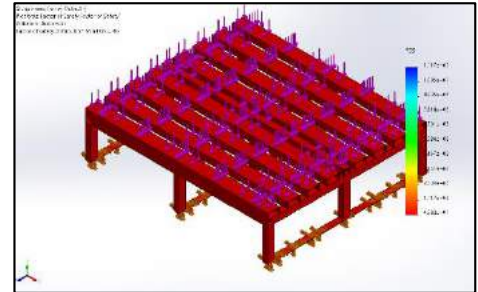


Gambar 7 *Displacement Dudukan*

$\times 10^{-2}$

d. *Safety Factor*

Simulasi ini bertujuan untuk menentukan aman atau tidaknya suatu rancangan Ketika beroperasi dan diberi tekanan dan didapat nilai minimum yaitu sebesar $4,583 \times 10 = 46$



Gambar 8 *Safety Factor*

3.3. Analisis Produksi Biogas

- a. Menentukan Volume input bahan baku per hari

Volume 2 tangki reaktor :

$$1000 \text{ liter} \times 2 = 2000 \text{ liter} = 2 \text{ m}^3$$

Volume efektif *slurry* 2 tangki : 750 liter x 2 = 1500 liter = 1,5 m³

Lama retensi (*Hydraulic Retention Time*) adalah 20-30 hari

Rumus volume input bahan baku per hari :

$$V_s = \frac{V_d}{HRT}$$

$$V_s = \frac{2 \text{ m}^3}{30 \text{ hari}}$$

$$V_s = 0,0667 \text{ m}^3/\text{hari}$$

- b. Massa Jenis *Slurry*

Input bahan baku (*Slurry*) menggunakan perbandingan antara bahan organik : air adalah 1:1. Dimana

masa jenis air (ρ_a) adalah 1000 m³/kg dan masa jenis bahan organik/sampah organik (ρ_o) adalah 311,73 m³/kg, maka untuk menemukan massa jenis *slurry* adalah:

$$\begin{aligned}\rho_s &= \rho_{air} + \rho_{organik} \\ \rho_s &= 1000 \text{ m}^3/\text{kg} \\ &\quad + 311,73 \text{ m}^3/\text{kg} \\ \rho_s &= 1311,73 \text{ m}^3/\text{kg}\end{aligned}$$

- c. Menentukan Massa *Volatile Solid* input per hari

Untuk mendapatkan massa *Volatile solid* maka harus didapatkan terlebih dahulu massa bahan organik yaitu :

$$\begin{aligned}M_s &= V_s \times \rho_s \\ M_s &= 0,0667 \text{ m}^3/\text{hari} \times \\ &\quad 1311,73 \text{ m}^3/\text{kg} \\ M_s &= 87,5 \text{ kg}\end{aligned}$$

Massa minimal input *slurry* dengan HRT 30 hari adalah 87,5 kg per hari dengan perbandingan 1 : 1 maka :

Massa air = Massa bahan organik = 43,75kg

Berdasarkan tabel 2.3 didapat rata rata persentasi *Volatile Solid* dari 4 jenis limbah organik tersebut adalah 72%. Maka massa *Volatile Solid* adalah :

$$43,75 \text{ kg/hari} \times 72\% = 31,5 \text{ kg/hari}$$

- d. Menentukan S (Konsentrasi awal *Volatile solid* pada *slurry*)

$$\begin{aligned}S &= \frac{M_s}{V_s} \\ S &= \frac{31,5}{0,667} \\ S &= 47,2263 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

- e. Menentukan *yield factor* (Y)

Indonesia memiliki temperature rata-rata sekitar 26,5°C, maka *yield factor* dengan rentang 30 hari adalah 7,15

Berdasarkan langkah perhitungan diatas, data yang didapat dimasukkan kedalam Rumus produksi biogas :

$$G = \frac{Y \times V_d \times S}{1000}$$

$$G = \frac{7,15 \times 2 \times 47,2263}{1000}$$

$$G = 0,6753 \text{ m}^3/\text{hari}$$

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan penulisan perancangan sistem instalasi *biodigester* kapasitas 2000 liter, dapat ditarik kesimpulan yaitu :

1. Perancangan sistem instalasi *biodigester* kapasitas 2000 liter menggunakan metode perancangan *Pahl & Beitz*, dimana proses perancangan ini terdiri atas 4 fase yaitu, Perencanaan Produk dan Penjelasan Tugas, Perancangan Konsep Produk, dan Perancangan Bentuk Produk, Perancangan Detail Produk,
2. Pada fase ketiga metode perancangan menghasilkan 3 varian konsep desain produk yang dimana pembobotan untuk varian 1 adalah 4,2 dan varian 2 adalah 4,78, dan varian 3 adalah 3,9 sehingga varian 2 menjadi varian desain terpilih.
3. Terdapat beberapa komponen utama yaitu : Reaktor, Penghancur Organik, Pemurni Biogas, Tangki Penyimpanan biogas dan dudukan

4. Dengan analisis tekanan hidrostatis pada reaktor dengan nilai $9,6510 \times 10^3 \text{N/m}^2$ didapat tekanan maksimum untuk reaktor *biodigester* dengan material HDPE yaitu $5,282 \times 10^6 \text{N/m}^2$ dengan nilai *safety factor* sebesar 4,9. Dan analisis kekuatan dudukan pada reaktor menggunakan material AISI 1045 didapatkan nilai *safety factor* yaitu 46. Selain itu analisis produksi biogas per hari dengan HRT 30 hari didapat *Biodigester* menghasilkan biogas sebanyak $0,6753 \text{ m}^3/\text{hari}$ atau sekitar 675,3 liter per hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. I. Gustidha Budiartie & Raditya Hanung, "Polemik Subsidi LPG, Dulu Solusi Kini Perlu Resolusi?," 2018. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20180627074615-4-20644/polemik-subsidi-lpg-dulu-solusi-kini-perlu-resolusi> (accessed May 10, 2021).
- [2] N. S. Anindhita Maharrani, "Sampah makanan dan plastik bisa saling menguntungkan," 2020. <https://lokadata.id/artikel/sampah-makanan-dan-plastik-bisa-saling-menguntungkan> (accessed Apr. 22, 2021).
- [3] I. Apriana and A. Ramdan, "Aplikasi Metode Perancangan Pahl-Beitz Pada Perancangan Lini Produksi," pp. 1–6, 2014.
- [4] A. A. Akhiruddin Amrullah, "Pembuatan Diegister Biogas Dan Lampu Gas Dari Kotoran Ternak Sapi," *Tek. Mesin "TEKNOLOGI,"* no. Vol 20, No 1 Okt (2019): Jurnal Teknik Mesin Teknologi, pp. 7–12, 2019.
- [5] R. E. Putri, A. Andasuryani, and I. Pratiwi, "Studi Pemanfaatan Kotoran Sapi Sebagai Sumber Biogas di Nagari Aie Tajun Kecamatan Lubuk Alung Kabupaten Padang Pariaman," *J. Dampak*, vol. 16, no. 1, pp. 26–30, 2019.
- [6] Y. Vögeli, C. Riu, A. Gallardo, S. Diener, and C. Zurbrügg, *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries*, no. August. 2014.
- [7] G. Mahardhian Dwi Putra, S. Haji Abdullah, A. Priyati, D. Ajeng Setiawati, and S. Abdul Muttalib, "Rancang Bangun Reaktor Biogas Tipe Portable Dari Limbah Kotoran Ternak Sapi," *J. Ilm. Rekayasa Pertan. dan Biosist.*, vol. 5, no. 1, pp. 369–374, 2017,
- [8] IRENA, P. A. M. Heezen, S. Gunnarsdóttir, L. Gooijer, S. Mahesh, and M. Ghiandelli, *Measuring small-scale biogas capacity and production*, vol. 31. 2016.
- [9] A. Y. Wibisono, "Program studi teknik lingkungan fakultas perencanaan infrastruktur universitas pertamina 2019," 2019.
- [10] T. Damanhuri, E. dan Padmi, "Pengolahan Sampah Terpadu Edisi Kedua," 2018.
- [11] M. Keramati and H. Beiki, "The effect of pH adjustment together with different substrate to inoculum ratios on biogas production from sugar beet wastes in an anaerobic digester," *Res. Artic. J. Energy Manag. Technol.*, vol. 1, no. 2, p. 6, 2017.

Analisis Pengaruh Nanofluida Titanium Dioksida (TiO_2) Terhadap Kinerja Fluida Dasar Pada Perpindahan Panas Pada Alat Penukar Panas Pipa Ganda

Fadhli Aulia Syukri¹, Budhi M. Suyitno²

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

Abstrak.

Alat penukar kalor merupakan alat yang digunakan untuk memindahkan kalor dari sistem ke sistem lain tanpa perpindahan massa dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Salah satu alat yang digunakan untuk melakukan proses pemindahan kalor tersebut adalah Penukar kalor pipa ganda, alat ini mempunyai desain yang sederhana, dengan pipa yang membentuk horizontal dimana terdapat 2 pipa kecil di bagian dalam masing-masing pipa dan pipa besar di bagian luarnya. Salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi dari alat penukar panas adalah fluida yang digunakan. Perkembangan dalam nanoteknologi saat ini telah menciptakan suatu kelas fluida baru yang disebut nanofluida. Penggunaan Nanofluida menunjukkan stabilitas yang lebih baik dan konduktivitas termal yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan fluida biasa. Titanium dioksida (TiO_2) digunakan sebagai nanofluida dengan konsentrasi 0,4%, 0,6%, dan 0,8%. Setiap fraksi massa nanofluida diterapkan pada sistem dengan debit 0,3, 0,6, dan 0,9 liter/menit. Data yang di dapat berupa temperatur input dan output. Dengan pengolahan data didapat thermophysical properties dan perpindahan panas. Penggunaan titanium dioksida pada alat penukar panas pipa ganda mempengaruhi peningkatan laju perpindahan panas nanofluida dan mendapatkan nilai tertinggi pada variasi konsentrasi nanofluida TiO_2 0,8% dengan debit 0,9 l/min yaitu sebesar 0,35 W. Peningkatan ini terjadi karena adanya peningkatan konduktivitas termal pada nanofluida TiO_2 .

Kata kunci : Alat penukar panas pipa ganda, Nanofluida, Titanium dioksida, thermophysical properties, perpindahan panas.

1. PENDAHULUAN

Pemanasan atau pendinginan fluida adalah suatu kebutuhan utama didalam banyak sektor industri, kebutuhan di bidang energi dan produksi serta bidang elektronika. Alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) adalah alat yang digunakan untuk memindahkan kalor dari sistem ke sistem lain tanpa perpindahan massa dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas dipakai adalah air yang dikalorkan sebagai fluida kalor dan air biasa sebagai air pendingin (*cooling water*). Penukar kalor dirancang sebisa mungkin agar perpindahan kalor antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran kalor terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida

terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung (direct contact) [1]. Salah satu alat yang digunakan untuk melakukan proses pemindahan kalor tersebut adalah Penukar kalor pipa ganda, alat ini Mampu beroperasi pada tekanan yang tinggi, fleksibel dalam berbagai aplikasi, mempunyai desain yang sederhana, dengan pipa yang membentuk horizontal dimana terdapat 2 pipa kecil di bagian dalam masing-masing pipa dan pipa besar di bagian luarnya [2]

Efisiensi alat penukar kalor dipengaruhi oleh bentuk, dimensi pipa dan fluida, secara keseluruhan dipengaruhi oleh koefisien perpindahan panas konveksi, yang merupakan fungsi dari sejumlah termofisika fluida [3]. sifat-

sifat termal dari fluida kerja mempunyai peran penting dalam perpindahan panas [4]. Tetapi, fluida perpindahan panas konvensional seperti air, ethylene glycol dan minyak mesin secara umum, memiliki sifat-sifat perpindahan panas yang sangat rendah dibandingkan dengan kebanyakan benda padat. Sehingga salah satu alternatif untuk mengatasi keterbatasan ini adalah dengan suspensi nanopartikel pada fluida dasar [5].

Perkembangan nanoteknologi saat ini telah menciptakan suatu kelas fluida baru dan khusus, disebut nanofluida. Nanofluida merupakan suspensi nanopartikel dengan setidaknya satu dimensi kurang dari 100 nm atau dapat diartikan cairan yang tersusun dari partikel partikel yang berukuran sangat kecil dalam orde nanometer. Menurut penelitian, penggunaan nanofluida meningkatkan konduktivitas termal dan koefisien perpindahan panas konduktif dibandingkan dengan fluida dasar. Penelitian dalam bidang nanofluida yang diaplikasikan pada sistem penukar panas (*heat exchanger*) menunjukkan stabilitas yang lebih baik dan konduktivitas termal yang lebih tinggi di bandingkan dengan fluida biasa. Selain itu juga masih banyak aplikasi lain yang dapat dimanfaatkan terkait nanofluida. Keuntungan ini membuat nanofluida menjanjikan sebagai peningkatan alat penukar kalor (*heat exchanger*) dan muncul sebagai fluida yang memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan pada sistem perpindahan panas [5].

Titanium dioksida (TiO_2) adalah salah satu partikel logam yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi bila dibandingkan dengan logam jenis ferro lainnya. Titanium dioksida memiliki konduktivitas termal $8,9 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, dimana lebih besar dibandingkan dengan nanofluida lainnya seperti *graphene oxide* dengan konduktivitas termal $0,607 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

Secara umum TiO_2 adalah bahan yang aman bagi manusia dan binatang, nanopartikel TiO_2 mudah ditemukan, dan metal oksida seperti nanopartikel TiO_2 mempunyai kestabilan yang tinggi.

Oleh karena itu, menggunakan nanofluida titanium dioksida dengan variasi konsentrasi 0,4%, 0,6% dan 0,8% menggunakan alat penukar kalor pipa ganda diharapkan dapat meningkatkan *thermophysical properties* dan karakteristik perpindahan panas pada alat penukar kalor pipa ganda.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan alat penukar kalor pipa ganda dengan tipe aliran counter flow. Alat-alat yang akan digunakan untuk penelitian ini meliputi peralatan yang digunakan untuk membuat nanofluida adalah alat sonifikator, *magnetic stirrer*, Viskometer, timbangan digital, termometer, dan gelas beker 500 ml. Peralatan yang digunakan dalam pengambilan data adalah alat *Heat Exchanger* tipe *double pipe* skala laboratorium, termometer digital. Sedangkan untuk bahan-bahan yang dibutuhkan adalah nanofluida titanium dioksida dan air aquades.

Nanofluida TiO_2 dengan tiga konsentrasi yaitu, 0,4%, 0,6%, dan 0,8 %. Untuk mendapatkan volume nanopartikel dapat menggunakan persamaan:

$$\varphi = \frac{v_p}{v_{bf}} \times 100\%$$

Setelah mendapatkan nilai volume, maka untuk menentukan massa nanopartikel adalah dengan persamaan:

$$\rho_p = \frac{m}{v}$$

Setelah mendapatkan variasi massa nanopartikel diatas berdasarkan variasi konsentrasi nanopartikel, siapkan TiO_2 pada gelas beker kemudian dicampurkan dengan air distilasi sebagai fluida dasarnya. Selanjutnya proses pengadukan yang dilakukan dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit agar TiO_2 dan air distilasi tercampur rata.

Campuran TIO_2 dan fluida dasar berupa air distilasi selanjutnya dilakukan sonikasi dengan menggunakan ultrasonic dispersion selama 1 jam. Volume dari fluida panas maupun dingin diatur sama yaitu 600 ml, bertujuan agar dalam pelaksanaan pengujian hasilnya akurat karena tidak ada perbedaan volume dari kedua cairan. Debit dari fluida panas diatur sebesar 1 l/m dan fluida dingin diatur bervariasi yaitu dengan debit 0,3 l/m, 0,6 l/m, dan 0,9 l/m. Masing-masing komposisi nanofluida dilakukan pengujian 3 kali dengan debit yang berbeda-beda. Debit fluida panas diatur 1 l/m untuk menjaga objek pengesanan/pengujian, agar data yang di peroleh tepat. Fluida panas dipanaskan sehingga mencapai suhu 60°C dan fluida dingin tetap dijaga dengan suhu ruangan yaitu 27°C agar tidak ada perbedaan dalam pengambilan data satu sama lain. Karena suhu sangat berpengaruh pada konduktivitas termal fluida. Selanjutnya mencatat data dari temperatur awal sebelum dilakukan pengujian pada alat *Heat Exchanger*. Kedua pompa dinyalakan secara bersamaan. Posisikan selang outlet heat exchanger pada wadah yang berbeda dari wadah awal. Tujuannya agar diketahui secara langsung perbedaan temperatur dari cairan yang telah dilakukan sekali running (sekali siklus). Karena jika selang keluar dikembalikan ke wadah awal dan sirkulasi terus berlanjut maka temperatur tidak dapat diketahui akibat temperatur jadi seimbang dan juga tidak ada pendingin pada fluida dingin. Temperatur diukur setelah dilakukan pengujian pada wadah output menggunakan termometer digital langsung setelah dilakukan proses sirkulasi selesai. Tujuannya agar tidak ada perubahan temperatur akibat pengaruh suhu ruangan atau lainnya. Kemudian tulis data yang dihasilkan dari fluida panas maupun dingin sebagai temperatur outlet. Sebelum dilakukan pengujian ulang dengan sampel nanofluida berbeda ataupun debit berbeda, alat penukar panas didinginkan terlebih dahulu sampai suhu ruangan lagi. Tujuannya agar tidak ada perbedaan perlakuan antara sampel satu dengan sampel lainnya yang akan diuji, apabila sampel yang digunakan memiliki konsentrasi yang berbeda maka perlu dilakukan pembersihan didalam saluran atau *Heat*

Exchanger dengan menggunakan air biasa agar tidak berpengaruh pada hasil data penelitian

Untuk *thermophysical properties* maka diperlukan pengolahan data massa jenis, kalor jenis, viskositas, dan konduktivitas termal. Dengan persamaan berikut:

- Massa jenis

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi)\rho_{bf} + \varphi\rho_p \quad (1)$$

- Kalor jenis

$$Cp_{nf} = (1 - \varphi)Cp_m + \varphi Cp_p \quad (2)$$

- Viskositas

$$\mu_{nf} = 1 + 2,5\varphi \times \mu_{bf} \quad (3)$$

- Konduktivitas termal

$$k_{nf} = \left[\frac{k_p + 2k_m + 2\varphi(k_p - k_m)}{k_p + 2k_m + \varphi(k_p - k_m)} \right] k_m \quad (4)$$

Untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas maka menggunakan persamaan di bawah ini:

- Bilangan Prandtl

$$Pr = \frac{\mu \cdot Cp}{k} \quad (5)$$

- Bilangan Reynold

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} \quad (6)$$

- Bilangan Nusselt

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,3} \quad (7)$$

- Koefisien konveksi

$$h = \frac{Nu \cdot k}{D} \quad (8)$$

Untuk menganalisa perpindahan panas maka menggunakan persamaan berikut:

- ΔT_{LMTD}

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln\left(\frac{T_{h,i} - T_{c,o}}{T_{h,o} - T_{c,i}}\right)} \quad (9)$$

• Koefisien perpindahan panas keseluruhan

$$U_a = \frac{1}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o A_o}} \quad (10)$$

• Perpindahan panas

$$q = U_a \times \Delta T_{LMTD} \quad (11)$$

Dimana :

ρ_{nf} = massa jenis nanofluida (kg/m³)

ϕ = konsentrasi (%)

ρ_{bf} = massa jenis basefluids (kg/m³)

ρ_p = massa jenis nanopartikel (kg/m³)

Cp_{nf} = Kalor Jenis nanofluida (J/kg °C)

Cp_m = Kalor Jenis basefluids (J/kg °C)

Cp_p = Kalor Jenis nanopartikel (J/kg °C)

μ_{nf} = Viskositas nanofluida (kg/m s)

μ_{bf} = Viskositas basefluid (kg/m s)

k_{nf} = Konduktivitas Termal nanofluida (W/m°C)

k_p = Konduktivitas Termal partikel (W/m°C)

k_m = Konduktivitas Termal basefluids (W/m°C)

U_a = Koefisien perpindahan kalor keseluruhan (W/°C)

D_o = Diameter luar pipa (m)

D_i = Diameter dalam pipa (m)

A_i = luas permukaan bagian inlet (m²)

A_o = luas permukaan bagian outlet (m²)

h_i = Koefisien perpindahan kalor inlet (W/m²°C)

h_o = Koefisien perpindahan kalor outlet (W/m²°C)

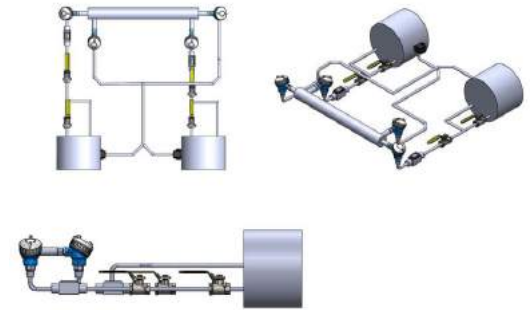
k = Konduktivitas termal (W/m°C)

q = Laju perpindahan panas (W)

U = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (W/m².°C)

A = Luas permukaan penukar panas (m²)

ΔT_{LMTD} = Perbedaan temperatur rata-rata logaritma (°C)



Gambar 2.1 Heat Exchanger Double Pipe

Tabel 2.1 Data hasil pengujian

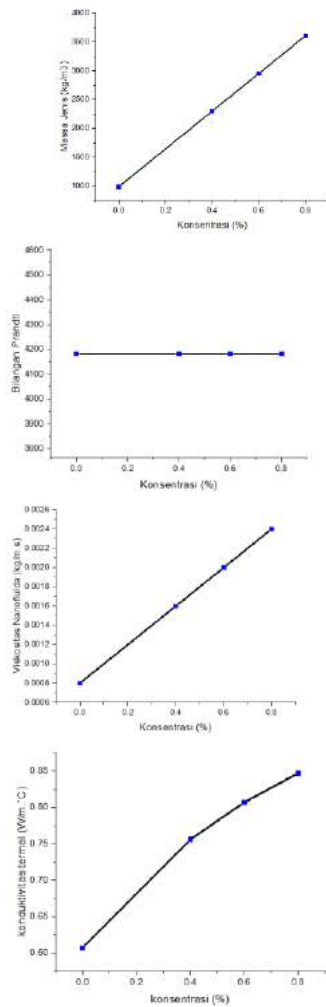
Fraksi massa	Debit	Air		Nanofluid		ΔT1	ΔT2
		Te in	Te out	Th in	Th out		
fraksi massa 0.8%	0.9	28.25	33.54	60.8	45.2	27.26	16.95
	0.6	28.17	33.12	59.81	45.7	26.69	17.53
	0.3	27.06	33.88	59.8	44.69	25.92	17.63
fraksi massa 0.6%	0.9	27.44	33.44	60.75	44.83	27.31	17.39
	0.6	27.81	34.94	60	44.22	25.06	16.41
	0.3	27.87	33.62	59.1	45.31	25.48	17.44
fraksi Massa 0.4%	0.9	27.69	34.67	60.4	44.25	25.73	16.56
	0.6	27.75	34.56	59.75	44.44	25.19	16.69
	0.3	27.87	34.81	59	44.1	24.19	16.23
air	0.9	27	31.5	60	46.8	28.5	19.8
	0.6	27	32.5	60	47	27.5	20
	0.3	27	37.9	60	47.2	22.1	20.2

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa data Thermophysical Properties

Sifat thermophysical properties tergantung pada struktur, dan proses konduksi panas yang bukan fenomena lokal, melainkan menunjukkan efek radiasi jangka panjang. Perubahan besar dalam sifat termofisika fluida dapat dikaitkan

dengan perubahan besar dalam tingkat perpindahan panas konvektif [10].

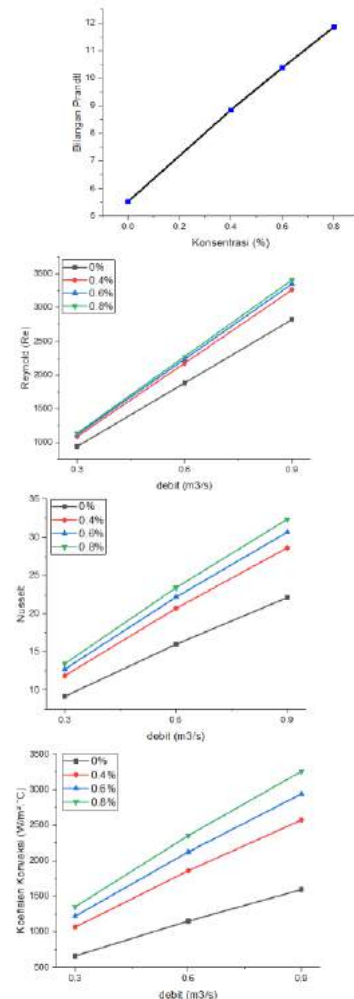


Gambar 3.1 (a) massa jenis; (b) kalor jenis; (c) viskositas (d) konduktivitas termal

Hasilnya nilai massa jenis, viskositas dan konduktivitas termal akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya nilai konsentrasi pada nanofluida. Namun tidak terjadi pada kalor jenis yang hasilnya sama pada variasi konsentrasi nanofluida

Analisa Karakteristik Perpindahan Panas

Pengujian karakteristik perpindahan panas ini meliputi bilangan tak berdimensi seperti bilangan prandtl, bilangan reynolds dan bilangan nusselt. Selain bilangan tak berdimensi, penelitian ini melakukan pengukuran pada koefisien konveksi



Gambar 3.2 (a) bilangan Prandtl; (b) bilangan Reynold; (c) bilangan Nusselt (d) koefisien konveksi

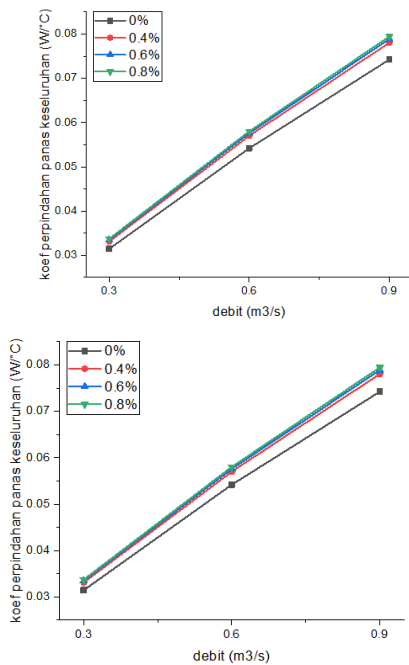
Hasilnya nilai bilangan Prandtl, bilangan Reynold, bilangan Nusselt, dan koefisien akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya nilai konsentrasi pada nanofluida.

Analisa Perpindahan Panas pada Alat Penukar

Panas Pipa Ganda

Perpindahan panas nanofluida TiO_2 merupakan tujuan utama dari pengaplikasian nanofluida TiO_2 pada sistem kerja alat penukar panas pipa ganda, dimana perhitungan hasil perpindahan panas dengan metode LMTD (*log mean temperature different*) melibatkan hasil perhitungan dari koefisien perpindahan panas menyeluruh, luas penampang dari dinding *heat exchanger*, dan ΔT_{LMTD} .

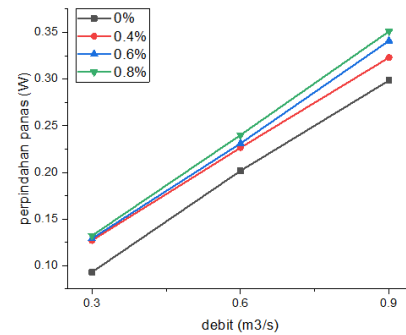
	0,6	0,22643
	0,9	0,32305
0,6	0,3	0,12911
	0,6	0,23101
	0,9	0,34107
0,8	0,3	0,13211
	0,6	0,24005
	0,9	0,35117



Gambar 3.3 Grafik Pengaruh Konsentrasi Nanofluida Terhadap (a) ΔT_{LMTD} ; (b) koefisien perpindahan panas menyeluruh

Tabel 3.1 Hasil Perhitungan Perpindahan Panas

Konsent rasi (%)	Debit	Perpindahan Panas
0	0,3	0,09312
	0,6	0,20169
	0,9	0,29855
0,4	0,3	0,12706



Gambar 3.3 Grafik Pengaruh Konsentrasi Nanofluida Terhadap perpindahan panas

Berdasarkan gambar 3.3 grafik pengaruh konsentrasi nanofluida terhadap perpindahan panas. Nilai perpindahan panas meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi nanofluida. Nilai tertinggi pada perpindahan panas terjadi pada konsentrasi 0,8% dengan debit 0,9 l/m yaitu 0,35117 W dan nilai terendah terjadi pada konsentrasi 0% dengan debit 0,3 l/m yaitu 0,09312 W. Hasil ini menunjukkan bahwa nanofluida dengan penambahan TiO_2 memiliki nilai perpindahan panas yang lebih baik dibandingkan dengan nanofluida tanpa penambahan TiO_2 .

Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan

Nanofluida

Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Nanofluida antara lain:

- Meningkatkan stabilitas dan heat exchanger, karena perpindahan panas terjadi di permukaan partikel, maka untuk perpindahan panas sangat

diinginkan partikel yang memiliki luas permukaan besar. Karena ukurannya yang sangat kecil maka stabilitas dalam perpindahan kalor akan semakin tinggi karena gaya gravitasi yang bekerja pada partikel akan semakin kecil.

- Membuat sistem lebih kecil, hal ini dapat dilakukan karena potensi konduktifitas panas yang sangat tinggi akan membuat ukuran peralatan heat exchanger menjadi lebih kecil sehingga dapat menghemat biaya penggunaan.
- Menghemat biaya dan energi. Dengan menggunakan nanofluida maka ukuran dari alat penukar kalor beserta peralatan pendukungnya menjadi semakin kecil.

Kekurangannya penggunaan nanofluida antara lain:

- penggunaannya membutuhkan biaya yang lebih mahal

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini pengaruh penambahan konsentrasi nanofluida TiO_2 terhadap *thermophysical properties*, dan karakteristik perpindahan panas pada nanofluida telah diamati secara analitik dan diaplikasikan pada sistem alat penukar panas tipe pipa ganda skala laboratorium.

Karakteristik perpindahan panas pada bilangan prandtl, Reynold dan Nusselt meningkat sering dengan bertambahnya fraksi volume nanofluida TiO_2 , hal ini dikarenakan nilai dari sifat *thermophysical* TiO_2 lebih tinggi jika dibandingkan dengan fluida kerja yang mendapatkan pertambahan nanofluida air distilasi.

Penambahan variasi fraksi volume nanofluida TiO_2 pada fluida dasar air distilasi mempengaruhi peningkatan laju perpindahan panas nanofluida TiO_2 dan mendapatkan nilai tertinggi pada variasi konsentrasi nanofluida TiO_2 0,8% dengan debit 0,9 l/min yaitu sebesar 0,351171206 W. Peningkatan ini terjadi karena adanya peningkatan konduktivitas termal pada nanofluida TiO_2 .

Untuk perkembangan penulisan ini maka penulis memberikan saran perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai performa alat penukar panas pipa ganda dengan konsentrasi titanium dioksida lebih tinggi untuk menentukan adanya nilai puncak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. A. ÇENGEL and A. J. GHAJAR, *HEAT AND MASS TRANSFER: FUNDAMENTALS & APPLICATIONS*, 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [2] S. Kakac and H. Liu, *Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design*. CRC Press, 1997.
- [3] B. Syarifuddin, "Analisis Efektivitas Alat Penukar Kalor Pada Mesin Pengereng Rak Telur Dengan Tungku Berbahan Bakar Sekam Padi," Universitas Hasanuddin Makassar, 2018.
- [4] Astuti and S. P. Sari, "Analisis Pengaruh Konsentrasi Partikel TiO_2 Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi pada Penukar Kalor Pipa Ganda," in *Seminar Nasional – XVII Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri*, 2018.
- [5] B. A. Bhanvase, D. P. Barai, S. H. Sonawane, N. Kumar, and S. S. Sonawane, *Intensified Heat Transfer Rate With the Use of Nanofluids*. Elsevier Inc., 2018.
- [6] R. S. Khedkar, S. S. Sonawane, and K. L. Wasewar, "Heat transfer study on concentric tube heat exchanger using TiO_2 -water based nanofluid," *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 57, pp. 163–169, Oct. 2014, doi: 10.1016/J.ICHEATMASSTRANSFER.2014.07.011.
- [7] agus haryanto, *perpindahan panas*, 1st ed. yogyakarta: Innosains, 2015.
- [8] M. R. Esfahani, E. M. Languri, and M. R. Nunna, "Effect of particle size and viscosity on thermal conductivity enhancement of

- graphene oxide nanofluid,” *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 76, pp. 308–315, 2016, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.06.006.
- [9] A. Hajatzadeh Pordanjani, S. Aghakhani, M. Afrand, B. Mahmoudi, O. Mahian, and S. Wongwises, “An updated review on application of nanofluids in heat exchangers for saving energy,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 198, no. April, p. 111886, 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2019.111886.
- [10] S. Eiamsa-ard, K. Kiatkittipong, and W. Jedsadaratanachai, “Heat transfer enhancement of TiO₂/water nanofluid in a heat exchanger tube equipped with overlapped dual twisted-tapes,” *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 18, no. 3, pp. 336–350, Sep. 2015, doi: 10.1016/J.JESTCH.2015.01.008.
- [11] A. yunus cengel, *heat and mass transfer*, Fifth. United States of America: McGraw-Hill Education, 2014.
- [12] M. Fares, M. AL-Mayyahi, and M. AL-Saad, “Heat transfer analysis of a shell and tube heat exchanger operated with graphene nanofluids,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 18, p. 100584, 2020, doi: 10.1016/j.csite.2020.100584.
- [13] W. H. Azmi, K. V. Sharma, P. K. Sarma, R. Mamat, and S. Anuar, “Comparison of convective heat transfer coefficient and friction factor of TiO₂ nanofluid flow in a tube with twisted tape inserts,” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 81, pp. 84–93, 2014.
- [14] J. P. Holman, *Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill, 2009.
- [15] M. M. Rizki, “Pengaruh Konsentrasi 0,1%, 0,3%, Dan 0,5% Partikel Tio₂ Terhadap Koefisien Konveksi Pada Penukar Kalor Pipa Ganda Dengan Diameter 0,5 Inch Dan 4 Inch,” Universitas Sriwijaya, 2020.
- [16] J. P. Holman, “Heat Transer,” 2009, doi: 10.1115/1.3246887.
- [17] H. Li, H. Huang, G. Xu, J. Wen, and H. Wu, “Performance analysis of a novel compact air-air heat exchanger for aircraft gas turbine engine using LMTD method,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 116, pp. 445–455, 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.01.003.

ANALISIS DESAIN COOLING COIL UNIT AHU, STUDI KASUS PADA PT. GLOBAL MULTI PHARMALAB

Denny Prumanto, S.T., M.T.¹, Dedy Krisbianto, S.T., M.T.², Aries Munandar³

Fakultas Teknik, Universitas Krisnadwipayana
Jl. Raya Jatiwaringin, Pondok Gede, Jakarta Timur, Jakarta 13077

ABSTRAK

Cooling Coil adalah salah satu komponen dalam mesin pendingin yang berfungsi sebagai alat penukar panas. Dalam Komponen ini terjadi pertukaran panas antara udara yang melewatinya dengan media yang ada didalamnya. Ada dua jenis media yang dijadikan pendingin yaitu air dan Freon. Pada jenis Freon terjadi proses perupahan molekul dari cair menjadi gas dimana saat proses itu terjadi terjadi penyerapan kalor oleh Freon dan pelepasan kalor oleh udara. Desain *Cooling Coil* menyesuaikan dengan daya kompresor dan beban panas udara, sehingga perubahan temperatur tiap baris *Evaporator* dapat dihitung. *Cooling Coil* atau sering juga disebut *freezer*, *froster*, *Evaporator*, *chilling unit*, dan lain-lain. Fungsi dari *Cooling Coil* adalah untuk menyerap panas dari udara atau benda di dalam mesin pendingin dan mendinginkannya. Kemudian membuangnya kalor tersebut melalui kondensor di ruang yang tidak didinginkan. Kompresor yang sedang bekerja menghisap bahan pendingin gas dari *Evaporator*, sehingga tekanan di dalam *Cooling Coil* menjadi rendah dan vakum. *Cooling Coil* pada unit AHU dipengaruhi Perbandingan jumlah beban panas udara yang akan didinginkan dengan total daya *Cooling Coil*. Dimensi *Coil* mempengaruhi seberapa luas bidang perpindahan panas dan seberapa lama persentuhannya, sehingga nilai keefisien perpindahan panas dari udara maupun *refrigerant* bisa di ketahui

Kata Kunci : *Cooling Coil*, Penukar panas, Desain *Cooling Coil Unit*

1. Latar Belakang

Ruang bersih atau *cleanroom* adalah ruang atau area dibawah pengawasan dan pengendalian lingkungan terhadap cemaran partikulat dan mikroba pada tingkat yang telah ditetapkan. Ada 6 parameter yang harus dipenuhi guna mendapatkan kondisi *cleanroom* ini, antara lain temperatur, kelembapan, tekanan, pergantian udara, partikel dan mikroba. Untuk mengatur lima parameter diatas dapat digunakan sistem pengendalian udara. Alat atau sistem pengendalian udara ini biasa disebut dengan AHU (*Air Handling Unit*). Alat ini memiliki bagian bagian yang berfungsi menyesuaikan tiap parameter yang diperlukan guna menunjang

suatu sitem udara. Bagian bagian tersebut antara lain Filter yang berfungsi untuk menyaring udara sehingga jumlah partikel didalam udara dapat terkontrol. Selanjutnya adalah *Cooling Coil*, bagian ini berperan untuk mendinginkan udara. Bagian selanjutnya adalah *Heating coil* yang berfungsi untuk memanaskan udara sehingga *moisture* dalam udara dapat terkondensasi sehingga kelembapan udara dapat tercapai. Bagian terakhir adalah *fan* yang berfungsi untuk mendistribusikan udara keruangan dan juga untuk mengatur tekanan udara ditiap ruang

Setiap tahunnya dilakukan kualifikasi untuk mendapatkan data apakah ruang *cleanroom* masih layak untuk proses produksi atau tidak.

Dari pengambilan data didapat temperatur ruang 22°C, kelembapan 60%, pergantian udara lebih dari 35 kali perjam, perbedaan tekanan antara ruang dengan koridor kurang dari 10 Pa, Jumlah partikel 0.5 micron dibawah 3500 dan 5 micron dibawah 29. Dari hasil pengambilan data ada beberapa parameter yang sudah mencapai maksimum dan ada yang sudah keluar persyaratan.

Syarat ruang *clean room* menurut aturan CPOB adalah temperatur ruang 18 ~ 22 °C, kelembapan 45 ~ 55 %, pergantian udara lebih dari 35 kali perjam, perbedaan tekanan antar ruang produksi dan koridor 10 ~ 15 Pa, jumlah partikel 0.5 micron kurang dari 3.520 dan partikel 5 micron kurang dari 29.

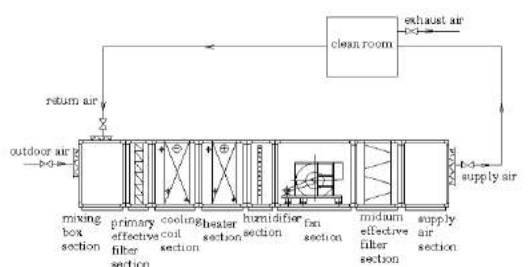
LANDASAN TEORI

1. AHU

(ASHRAE, 2010: Chapter 4) AHU merupakan suatu kesatuan alat yang berfungsi mengkondisikan dan menyalurkan udara kedalam sistem distribusi udara ruangan. Udara yang melewati AHU dikondisikan temperatur, kelembapan, jumlah partikel, tekanan, jumlah aliran sehingga syarat tercapainya kondisi ruangan bisa tercapai

Bagian bagian AHU :

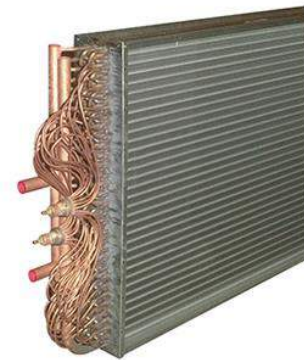
- a. *Filtration*
- b. *Cooling Coil*
- c. *Heating Coil*
- d. *Fan*



Gambar 1 Schematic AHU

2. *Cooling Coil*

Cooling Coil atau sering juga disebut *freezer*, *froster*, *Evaporator*, *chilling unit*, dan lain-lain. Fungsi dari *Cooling Coil* adalah untuk menyerap panas dari udara atau benda di dalam mesin pendingin dan mendinginkannya. Kemudian membuangnya kalor tersebut melalui kondensor di ruang yang tidak didinginkan. Kompresor yang sedang bekerja menghisap bahan pendingin gas dari *Evaporator*, sehingga tekanan di dalam *Cooling Coil* menjadi rendah dan vakum.



Gambar 2 Cooling Coil DX

Kalor sensible dan kalor laten udara di hilangkan dalam proses ini, *Cooling Coil* disini berguna untuk menyesuaikan udara guna mengejar temperatur *dewpoint* udara permintaan ruang sesuai dengan *Psychometric chart* sehingga saat dilakukan pemanasan dapat dicapai karakteristik udara permintaan. (ASHRAE, 2000 : (ASHRAE 2016, 4.6-4.11) Proses percepatan pendinginan yang terjadi tergantung dari beberapa faktor, yaitu:

a. Bahan pipa

Pada panjang pipa *Evaporator* terjadi proses perpindahan panas secara konveksi. Maka dari itu bahan pipa yang digunakan harus mempunyai kemampuan penghantar panas yang baik dan tahan karat. Biasanya bahan yang digunakan adalah bahan dari aluminium, tembaga, kuningan dan baja tahan karat (stainless steel). Aluminium dan tembaga

mempunyai sifat penghantar panas yang baik tetapi tidak asam. Baja mempunyai sifat tahan karat dan korosi akan tetapi kurang baik dalam menghantarkan panas. Dalam praktik, pemilihan bahan ini disesuaikan dengan kondisi kerja AC.

b. Luas permukaan

Perpindahan panas dari satu sisi ke sisi lain sangat tergantung pada luas permukaan *Evaporator*. Semakin luas permukaan tempat berlangsungnya perpindahan panas, semakin cepat laju perpindahan panas yang terjadi. Sepanjang luas permukaan *Evaporator* diberikan sirip yang tersusun rapi agar panas diserap lebih banyak dan luas.



Gambar 3 Evaporator

c. Faktor Film (kerak)

Faktor film suatu permukaan pada sirip-sirip *Evaporator* berkaitan dengan laju kecepatan udara yang melaluinya. Bila kecepatan udara yang melaluinya terlalu rendah maka akan terbentuk lapisan kerak permukaan sirip-sirip sehingga akan menghambat laju perpindahan panas.



Gambar 4 Fin dengan Noda kerak

d. Bahan Pendingin (*refrigerant*)

Perpindahan panas bahan pendingin cair ke cair lebih baik daripada cair ke gas. Namun kenyataannya perindahan panas lebih sering terjadi antar udara dengan *refrigerant* uap. Perpindahan panas dari gas ke gas mempunyai prose yang kurang cepat. Oleh karena itu pemakaian *refrigerant* hendaknya disesuaikan dengan kondisi kerja *Evaporator*.

e. Konstruksi Pipa *Evaporator*

Pipa atau koil *Evaporator* yang digunakan terdiri berbagai macam tipe tergantung kondisi dan kebutuhan metalasi. Perbedaan jenis pipa yang digunakan satu dengan yang lain terletak pada sistem pengaliran udara pada pipa *Evaporator* dan pengaliran air yang terkondensasi.

3. Heating Coil / Dehumidifier

Heating coil berfungsi sebagai penghilang moisture air atau pngurang kelembapan udara. *Heating coil* dapat menggunakan *elektrik heater*, *hot water* maupun *steam*. Pada proses setelah udara melewati pendinginan selalu nilai kelembapan naik, sehingga jika udara yang di akan disuplai memiliki kriteria kelembapan tertentu maka diperlukan suatu pemanas untuk mengurangi kelembapan relatif yang berada didalam udara tersebut.

a. Prinsip Kerja *Heat Exchanger*

J.P Holaman ,2010 : Chapter 1,1menjelaskan bahwa panas adalah salah satu bentuk energi yang dapat dipindahkan dari suatu tempat ke tempat lain, tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan sama sekali. 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. Pada umumnya perpindahan panas dapat berlangsung melalui 3 cara yaitu secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

a. Konduksi (hantaran)

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. Molekul-molekul benda yang panas bergetar lebih cepat dibandingkan molekul-molekul benda yang berada dalam keadaan dingin. Getaran-getaran yang cepat ini, tenaganya dilimpahkan kepada molekul di sekelilingnya sehingga menyebabkan getaran yang lebih cepat maka akan memberikan panas.

Panas dipindahkan sebagai berikut

$$q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \text{ (JP Holman, 2010 : 2)}$$

A : luas bidang perpindahan panas

-k : Konduktivitas panas

L : Panjang jalan perpindahan panas(tebal)

q : panas yang dip agai energi kinetik dari suatu molekul ke molekul lainnya, tanpa molekul tersebut berpindah tempat. Cara ini nyata sekali pada zat padat.

Daya hantar panas konduksi (k) tiap zat berbeda-beda. Daya hantar tinggi disebut penghantar panas (konduktor panas) dan yang rendah adalah penyekat panas (isolator panas).

indahkan

b. Konveksi (aliran/edaran)

Perpindahan panas dari suatu zat ke zat yang lain disertai dengan gerakan partikel atau zat tersebut secara fisik.

Panas dipindahkan oleh molekul-molekul yang bergerak (mengalir). Oleh karena

adanya dorongan bergerak. Disini kecepatan gerakan (aliran) memegang peranan penting.

Konveksi hanya terjadi pada fluida

$$q = h_c \cdot A (t_s - t_f) \text{ . (JP Holman, Heat transfer, 2010 hal 4)}$$

Dimana

h_c = koefisien perpindahan panas suatu lapisan fluida.

q = panas yang dipindahkan

A = luas perpindahan panas

c. Radiasi (pancaran)

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.

Panas dipancarkan dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Perpindahan seperti ini tidak memerlukan zat antara/media.

$$q = \sigma \cdot T \sigma^4 \dots \dots \dots \text{ (JP Holman, 2010 : 4)}$$

Q = jumlah panas yang dipancarkan

T = suhu mutlak

σ = tetapan Stefan – Boltzman, = 4,92 kkal / (jam. m².K⁴)

d. Hubungan U dengan k dan h

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{ha} + \frac{x}{k} + \frac{1}{hb} \dots \dots \dots \text{ (JP Holman,2010 : 33)}$$

Atau

$$R = R_a + R_k + R_b \dots \dots \dots \text{ . (JP Holman, 2010 : 33)}$$

Adanya kotoran/endapan (kerak) akan memperbesar tahanan terhadap perpindahan panas atau memperkecil U, sehingga persamaan menjadi:

$$\frac{1}{U} = R = R_a + R_k + R_b + R_f \dots \dots \dots \text{ (JP Holman, 2010 : 34)}$$

Rf : tahanan karena fouling (kotoran)

d. Isolasi Panas

Isolasi panas berfungsi mencegah kehilangan panas alat –alat, pipa-pipa steam atau gas yang bersuhu tinggi ke sekeliling yang suhunya lebih rendah, atau sebaliknya. Untuk alat-alat dengan suhu rendah, isolasi mencegah masuknya panas karena suhu sekitarnya yang lebih tinggi. Isolasi juga mencegah bahaya yang dapat timbul bila orang menyentuh permukaan benda yang panas atau dingin sekali.

Bahan Isolasi:

- Daya hantar panas rendah
- Dapat menahan arus konveksi
- Disesuaikan dengan suhu

Permukaan datar: makin tebal, makin sedikit panas yang hilang

f. Perbedaan Suhu Rata-rata

Dalam perpindahan panas perbedaan suhu mengendalikan laju pemindahan panas. Suhu fluida dalam alat sering tidak tetap. Untuk perhitungan digunakan perbedaan suhu rata-rata.

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta t_A - \Delta t_B}{\ln\left(\frac{\Delta t_A}{\Delta t_B}\right)} \dots\dots\dots$$

..... (JP Holman, 2010 : 45)

Perbedaan suhu ini disebut perbedaan suhu rata-rata logaritma (*log mean temperature diffrence*) disingkat LMTD

$$q = U . A . LMTD \dots\dots\dots$$

..... (JP Holman, 2010 : 45)

Pada Dasarnya prinsip kerja dari alat penukar kalor yaitu memindahkan panas dari dua fluida pada temperatur berbeda di mana *transfer* panas dapat dilakukan secara langsung ataupun tidak langsung.

a. Secara kontak langsung

Panas yang dipindahkan antara fluida panas dan dingin melalui permukaan kontak langsung berarti tidak ada dinding antara kedua fluida. *Transfer* panas yang terjadi yaitu melalui interfase / penghubung antara

kedua fluida. Contoh : aliran steam pada kontak langsung yaitu 2 zat cair yang immiscible (tidak dapat bercampur), gas-liquid, dan partikel padat-kombinasi fluida.

b. Secara kontak tak langsung

Perpindahan panas terjadi antara fluida panas dan dingin melalui dinding pemisah. Dalam sistem ini, kedua fluida akan mengalir.

b. Formulasi Neraca Massa dan Energi

Prihadi setyo darmanto, et al, kaji numerik dan eksperimental perpindahan panas dan evaporator untuk mendinginkan udara, : 24-27 menyatakan *Cooling Coil* yang depergunakan untuk mendinginkan udara. Dengan demikian perpindahan panas diawali dengan perubahan fasa kemudian diikuti dengan mekanisme tanpa perubahan fasa. Sedangkan disisi udara, apabila mengalami pendinginan hingga melewati temperatur jenuh uap air yang terkandung dalam udara tersebut, uap air akan mengalami pengembunan yang juga merupakan proses perubahan fasa. Setiap proses diikuti dan diformulasikan dalam suatu elemen volume.

Dari pernyataan diatas tentunya ada sebagian elemen volume dimana *refrigerant* yang mengalami perubahan fasa memperoleh energi dari udara, namun uap air yang terkandung didalamnya tidak mengalami perubahan fasa. Ada pula sebagian elemen volume dimana massa sebagian *refrigerant* mengalami *evaporasi* dan sebagian uap air diudara juga mengalami kondensasi. Untuk kasus dimana terdapat sebagian masa *refrigerant* yang melewati suatu elemen volume mengalami perubahan fasa, energi yang dipertukarkan di asumsikan dalam bentuk energi laten evaporasi dan perubahan sifat yang terjadi pada *refrigerant* adalah hanya kualitas uapnya atau prosentase masa *refrigerant* yang berfasa uap dalam campuran. Dengan demikian terdapat

laju perpindahan panas laten untuk elemen volume dimana *refrigerant* mengalami perubahan fasa dan laju perpindahan panas sensibel yang terjadi pada elemen volume yang dilewati fluida tanpa perubahan fasa. Secara matematis pernyataan dapat dituliskan sebagai berikut:

1. Pada daerah *refrigerant* dalam keadaan campuran dengan sebagian fasa cairnya menguap dan udara mengalami pendinginan, Pada sisi *refrigerant*, laju panas yang diterima dari udara Q_{ref} adalah

$$Q_{Ref} = m_{Ref} \cdot h_{fgref} \cdot (X_i + 1 - X_i) \dots \dots \dots$$

(P. Setyo damanto 2017, hal 25)

2. Pada sisi udara laju panas yang dikeluarkan oleh udara Q_{air} adalah

$$Q_{air} = m_{Air} \cdot C_{pAir} \cdot (T_{Airin} - T_{Airout}) \dots \dots \dots$$

(P. Setyo damanto 2017, hal 25)

Jika sebagian masa uap air massa uap air yang terkandung dalam udara yang melewati coil mengalami pengembunan maka persamaan kedua didekati dengan

$$Q_{Air} = (m_{air} - m_{uap-kond}) \cdot C_{pAir} \cdot (T_{airin} - T_{airout}) + m_{uap-kond} \cdot C_{pv} \cdot (T_{airin} - T_{satair}) h_{fgh2o} + C_{pw} \cdot (T_{satair} - T_{airout}) \dots \dots \dots$$

(P. Setyo damanto 2017, hal 25)

Kejadian seperti ini dialami oleh elemen elemen sampai seluruh cairan *refrigerant* menguap.

- a. Pada daerah *refrigerant* dalam keadaan uap jenuh berubah menjadi uap panas lanjut dan udara mengalami pendinginan

1. Pada sisi *refrigerant*, laju panas yang ditransfer keudara

$$Q_{ref} = m_{ref(ij)} C_{p f.ref} \cdot (T_{refin(ij)} - T_{refout(ij)}) \dots \dots \dots$$

(P. Setyo damanto 2017: 25)

2. Pada sisi udara, laju panas yang diterima oleh udara Q_{air} adalah sama untuk kondisi dimana sebagian uap air diudara tidak ada yang mengembun

Dimana

- m_{air} : laju massa udara yang mengalir
- m_{ref} : laju massa *refrigerant*
- $m_{uapkond}$: laju massa uap air yang mengembun
- $(T_{airin} - T_{airout})$: kenaikan temperatur udara
- $(T_{refin} - T_{refout})$: beda temperature *refrigerant* keluar dan masuk
- $C_{p air}$: kapasitas panas udara
- $C_{p gref}$: kapasitas panas *refrigerant*
- $C_{p fref}$: kapasitas panas *refrigerant* fasa uap
- C_{pv} : kapasitas panas *refrigerant* fasa cair
- C_{pw} : kapasitas panas air kondensat
- h_{fgh2o} : entalpi laten kondensasi uap
- h_{fgreff} : entalpi laten kondensasi refrigerat

Persamaan persamaan diatas hanya berlaku bila diasumsikan tidak terjadi interaksi energi dengan lingkungan sehingga nilai numerik $Q_{ref} = Q_{air}$ sedangkan pada kenyataanya, perbedaan panas yang diterima oleh udara dengan panas yang diberikan oleh *refrigerant* kurang dari 5% sehingga asumsi tersebut masih dapat

Koefisien perpindahan panas total (*overall heat transfer coefficient* (U_o) yang didasarkan pada permukaan perpindahan panas sisi udara (A_o) dihubungkan dengan koefisien perpindahan panas di sisi udara tersebut (h_o) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{A_o}{A_i h_i} + \frac{r_i \ln(\frac{d_{to}}{d_{ti}})}{A_i k_i} \dots \dots \dots$$

... (P. Setyo damanto 2017: 26)

Nilai U_o ini dievaluasi berdasarkan Persamaan berikut:

$$Q_{tot} = U_o A_o (\Delta T_{LMTD}) \dots \dots \dots (P. Setyo damanto 2017: 26)$$

dengan ΔT_{LMTD} adalah beda temperatur logaritmik yang dapat dievaluasi berdasarkan hasil pengukuran temperatur kedua fluida di sisi masuk dan keluar penukar panas uji. Efisiensi keseluruhan sirip η_o diberikan oleh

$$\eta_o = 1 - \frac{A_f}{A_o} (1 - \eta_f) \dots \dots \dots (P. Setyo damanto 2017: 26)$$

Dalam Persamaan diatas, η_f menunjukkan efisiensi satu sirip yang dapat dicari nilainya dalam referensi. Koefisien perpindahan panas pada sisi udara (h_o) dievaluasi secara grafis berdasarkan modulus Colburn j_H sebagai berikut:

$$h_o = \frac{j_h}{p^{2/3}} G C p_{ref} \dots (P. Setyo damanto 2017, 26)$$

G adalah laju massa aliran per satuan luas pipa dan $Re_d = G_{ref} d_t / \mu_{ref}$ adalah bilangan Reynolds di sisi *refrigerant*. Sedangkan koefisien perpindahan panas pada sisi *refrigerant* dievaluasi berdasarkan korelasi umum berikut:

$$Nu_d = C . Re_d^n \dots \dots \dots (P. Setyo damanto 2017: 26)$$

dengan $Nu_d = h_i . d_t / k_{ref}$ adalah bilangan Nusselt dan $Re_d = G_{ref} d_t / \mu_{ref}$ adalah bilangan Reynolds aliran di dalam pipa. Persamaan dapat dinyatakan dengan bentuk lain sebagai:

$$h_i = \frac{k_{ref}}{d_t} . C . Re_d^n \dots \dots \dots (P. Setyo damanto 2017: 26)$$

dengan nilai C dan n akan didekati berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh. Akhirnya dengan formulasi-formulasi di atas, kinerja termal penukar panas dan koefisien perpindahan panas di sisi udara yang merupakan koefisien perpindahan panas konveksi disertai kondensasi dapat dievaluasi.

Apabila diasumsikan tidak terjadi interaksi energi antara *refrigerant* dan udara dalam satu elemen sehingga rugi-rugi panas dapat diabaikan, Persamaan neraca energi per elemen dapat ditulis sebagai berikut:

a. Pada daerah dimana sebagian massa cairan *refrigerant* terevaporasi:

$$m_{ref(ij)} \cdot (X_i + X_{1+i}) \cdot h_{fg,ref} = m_{air(ij)} \cdot C p_{air} \cdot (T_{airin(ij)} - T_{airout(ij)}) + m_{uapkon} \{ (h_{fg,uap}) + C p_w \cdot (T_{satair(ij)} - T_{airout(ij)}) \} \dots \dots \dots (P. Setyo damanto 2017:27)$$

b. Pada daerah dimana *refrigerant* dalam keadaan uap jenuh hingga uap panas lanjut:

$$m_{reff(ij)} \cdot C p_{gref} (T_{refin(ij)} - T_{refout(ij)}) = m_{air(ij)} - C p_{air} (T_{airin(ij)} - T_{airout(ij)}) + m_{uapkon} \{ (h_{fg,uap}) + C p_w (T_{satair(ij)} - T_{airout(ij)}) \}$$

Dalam Persamaan di atas terdapat dua parameter yang tidak diketahui yaitu T_{airout} dan T_{refout} . Untuk memperoleh kedua nilai dari parameter tersebut, yang nantinya dipergunakan sebagai nilai masukan untuk elemen berikutnya, perlu diiterasi dengan meperkirakan terlebih dahulu. Agar literasi konvergen, nilai perkiraan tersebut dapat ditentukan berdasarkan uraian berikut. Sebagai konsekuensi dari neraca energi di elemen, nilai laju perpindahan energi dalam bentuk panas maksimum yang mungkin terjadi pada daerah dimana *refrigerant* masih dalam keadaan campuran antara cair dan uap adalah sebesar:

$$Q_{i,j}^1 = U_{i,j} A_{i,j} [(T_{airin} - T_{sat,ref})] \dots \dots \dots (P. Setyo damanto 2017: 27)$$

dengan U_{ij} : koefisien perpindahan panas global elemen

$A_{i,j}$: luas permukaan perpindahan panas elemen di sisi udara.

Nilai $Q_{i,j}^1$ tersebut harus sama dengan yang diberikan oleh udara atau yang diterima oleh *refrigerant* seperti yang ditunjukkan pada Persamaan sebelumnya. Dengan catatan bahwa untuk elemen dengan nomor $i = 1$ nilai kualitas uap *refrigerant* diketahui berdasarkan tekanan *Evaporator* dan entalpi jenuh cairan *refrigerant* keluar dari kondenser, nilai kualitas uap keluar elemen x_{i+1} dapat dihitung dengan Per. Sedangkan nilai T_{airout} juga dapat dievaluasi yaitu:

$$(T_{airout}) = \frac{\{m_{air} \cdot C_{p_{air}} \cdot T_{airin} + m_{kond} [h_{fghzo} + C_{p_w} \cdot T_{airin}]\} - Q_{i,j}^n}{(m_{air} \cdot C_{p_{air}} - m_{kon} \cdot C_{p_w})_{i,j}} \dots$$

.. (P. Setyo damanto 2017: 26)

Perkiraan nilai temperatur udara pada literasi berikutnya didekati dengan nilai rata-rata antara temperatur udara masuk dan keluar elemen yaitu:

$$(T_{air})_{i,j} = \frac{[(T_{airout}^1 - T_{airin})_{i,j}]}{2} \dots \dots (P. Setyo damanto 2017: 26)$$

sehingga menghasilkan nilai $Q_{i,j}^2$ yang baru dan prosedur iterasi dilanjutkan untuk mengevaluasi nilai T_{airout} dan x_{i+1} yang baru.

Kemudian iterasi tersebut dilanjutkan hingga dipenuhi batas konvergennya, yaitu ketika terjadi kesetimbangan energi antara yang dihitung dari Persamaan diatas. Batas konvergensi ditetapkan bila selisih hasil perhitungan dengan kedua Persamaan tersebut lebih kecil dari suatu nilai yang ditetapkan untuk ketelitian perhitungan yang dianggap memadai (dalam penelitian ini diambil nilai perbedaan 0,01 sebagai batas konvergensi). Hasil akhir dari proses iterasi yang konvergen dipakai untuk menaksir besarnya temperatur udara di sisi keluar elemen yaitu sebesar:

$$(T_{airout})_{i,j} = (T_{airin})_{i,j} + \frac{Q_{i,j}^n}{(m_{air} \cdot C_{p_{air}})_{i,j}} \dots \dots$$

(P. Setyo damanto 2017: 27)

untuk elemen dimana uap air yang terkandung di udara tidak mengalami pengembunan. Sedangkan untuk yang mengalami pengembunan, nilai T_{airout} dievaluasi dengan Persamaan diatas. Dengan demikian parameter temperatur kedua fluida keluar dari elemen dapat dihitung dari iterasi di atas.

Untuk elemen-elemen volume dengan proses pemanasan *refrigerant* saja di dalamnya, yaitu dari uap jenuh menjadi uap panas lanjut, Persamaan untuk menaksir nilai $Q_{i,j}$ dalam proses iterasi yang dipergunakan agak sedikit berbeda dengan Persamaan-Persamaan di atas. Persamaan taksiran pertama untuk laju perpindahan panas dimulai dengan mengoreksi Persamaan ini menjadi:

$$Q_{i,j}^1 = U_{i,j} A_{i,j} [(T_{airin} - T_{refin})]_{i,j} \dots (P. Setyo damanto 2017: 27)$$

dengan temperatur *refrigerant* masuk elemen T_{airin} saat akhir evaporasi sama dengan temperatur uap jenuh *refrigerant* $T_{sat.ref}$ pada tekanan kerja *Evaporator*

c. Design Cooling Coil

Dalam menentukan luas permukaan *Cooling Coil*, perpindahan panas dan massa akan diterapkan pada seluruh permukaan koil. Metode dapat disederhanakan dalam N bagian sesuai dengan jumlah *row*. Hasil perhitunga yang diperoleh (A_o , T_{aout}) untuk satu bagian kumparan akan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh untuk kumparan N_r -section.

Sisi Udara

$$Q_c = m_a \cdot C \cdot \Delta T. \dots (M. Khamis Mansour 2012: 371)$$

$$Q_c = m_a(h_{a1} - h_{a2}) \dots (M. Khamis Mansour 2012: 371)$$

$$Q_c = \frac{\eta_s}{c_p} A_o h_o (h_{a_m} - h_{s_m}) \dots (M. Khamis Mansour 2012: 371)$$

Sisi Cairan Pendingin

$$Q_c = m_w c_p w (T_{w2} - T_{w1}) (M. Khamis Mansour 2012: 371)$$

$$Q_c = h_i A_i (T_{s_m} - T_{w_m}) \dots (M. Khamis Mansour 2012: 371)$$

Menerapkan persamaan perpindahan panas untuk udara dan air pada bagian masuk dan keluar dari coil, ini mengarah ke persamaan berikut untuk Ts di bagian ini:

$$R = \frac{h_{a1} - h_{s1}}{T_{s1} - T_{w1}} = \frac{h_{a2} - h_{s2}}{T_{s2} - T_{w2}} \dots (M. Khamis Mansour 2012: 371)$$

Untuk seluruh permukaan basah, suhu udara jenuh pada saluran masuk dan keluar dari permukaan Cooling Coil Ts1 dan Ts2 dapat diperoleh dengan cara yang sama seperti yang dilakukan sebelumnya untuk kumpulan N-section, seperti:

$$T_{s1} = \frac{-(R+1.4) + \sqrt{(R+1.4)^2 + 0.184(h_{a1} + R T_{w1} - 10.76)}}{0.092}$$

$$T_{s2} = \frac{-(R+1.4) + \sqrt{(R+1.4)^2 + 0.184(h_{a2} + R T_{w2} - 10.76)}}{0.092}$$

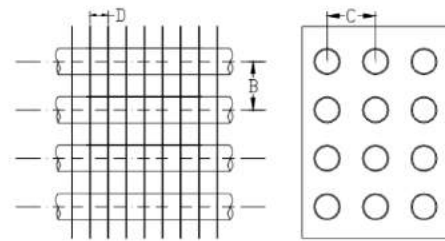
.Diamana
 Tw₁ : temperature fluida pendingin masuk
 Tw₂ : Temperatur fluida pendingin keluar
 $R = \left[\frac{c_p h_i}{\eta_s h_o} \left(\frac{A_i}{A_o} \right) \right] \dots \dots \dots (M. Khamis Mansour 2012: 381)$

Mengetahui (Ts₁&Tw₁) dan (Ts₂&Tw₂) nilai perbedaan suhu rata-rata antara antara air dingin dan permukaan Cooling Coil dapat diasumsikan dengan perbedaan suhu rata-rata logaritmik . ΔTm dapat ditentukan dari:

$$\Delta T_{w_m} = (T_{s_m} - T_{w_m}) = \frac{[(T_{s1} - T_{w1}) - (T_{s2} - T_{w2})]}{\ln \left[\frac{(T_{s1} - T_{w1})}{(T_{s2} - T_{w2})} \right]}$$

(M. Khamis Mansour 2012:371)

d. Area Perpindahan Panas Pada Fin dan Pipa Tube



Gambar 8 Evaporator dan Fin desain

Saat udara mengalir melewati dan Evaporator seperti gambar diatas maka terjadi perpindahan panas antar keduanya. Transfer panas terjadi di area

1. Area pipa
2. Area Fin

Area aliran udara ini dinyatakan dalam satuan per m² dari Face Area dan per baris dinotasikan sebagai A_f. Face area adalah daerah yang dapat dari luar . dan Area area aliran udara sebenarnya itu lebih kecil dari pada Face area karena ketebalan dari Fin. Aliran udara yang seharusnya mengalir diantara celah antar tabung menjadi terhambat oleh adanya konstruksi fin. Miimum area aliran ini dinotasikan sebagai A_c. Untuk memperhitungkan arean ini maka kita harus memiliki data jarak antar tabung dan jarak fin serta ukuran tinggin dan lebar Evaporator. (IITKGP lesson 22:4-5) Mengikuti gambar diatas maka di berikan notasi

- B : Jarak tinggi antar pipa
- C : Jarak pipa antar baris
- t : ketebalan Fin
- D : Jarak Antar fin
- d_o : Diameter Luar pipa
- d_i : Diameter dalam Pipa

Dan area lain dapat ditentukan dengan

$$A_b = \text{Bare Tube Area} = \frac{D-t}{D.B} \pi \cdot d_o \dots \dots \dots (IITKGP lesson 22: 22)$$

$$A_f = \text{Fin Area} = \frac{2}{D} \left[C - \frac{\pi \cdot d_o^2}{4.B} \right] \dots \dots \dots (IITKGP lesson 22:22)$$

$$A_c = \text{Minimum flow Area} = \frac{D-t}{D} \left[1 - \frac{d_o}{B} \right] \dots$$

..... (IITKGP lesson 22:22)

$$A_o = \text{Total perpindahan panas area} = A_b + A_f \dots \dots \dots \text{(IITKGP lesson 22:22)}$$

$$D_h = \text{Diameter Hidrolik} = \frac{4 C A_c}{1000 A_o} \dots \dots \dots$$

..... (IITKGP lesson 22:22)

Seperti kita ketahui *refrigerant* mengalir didalam pipa dan udara mengalir diantara celah *fin* dan pipa luar. Konveksi paksa perpindahan panas dari sisi udara tergantung pada tipe *fin*, jarak *fin*, tebal *fin*, diameter luar pipa, dan luas area. Kays dan London (1955) telah melakukan berbagai penelitian mengenai berbagai konfigurasi *fin* dan pipa. Mereka telah menganalisis data dari Colburn J-Factor ($St \cdot Pr^{1/3}$) dan Reynold Number (Re) untuk berbagai bentuk. Untuk rata rata penggunaan menggunakan korelasi

$$Nu = C \cdot Re^n \cdot Pr^n \dots \dots \dots \text{(IITKGP lesson 22:20)}$$

Dimana

Nu = Nusselt Number

C = Konstanta dari nilai Raynold

Re = Bilangan Raynold

Pr = Prandtl Number

Tabel 1. Konstanta Raynold dan Nusselt

Reynolds Number	Konstanta C	Konstanta n
0,4 – 4	0,989	0,33
4 – 40	0,911	0,385
40 – 4000	0,683	0,466
4000 – 40000	0,193	0,618
40000 - 400000	0,0266	0,805

Bilangan Nusselt adalah rasio pindah panas konveksi dan konduksi normal terhadap batas dalam kasus pindah panas pada permukaan fluida

Bilangan Raynold adalah rasio antara gaya Inersia terhadap gaya viskos yang mengkuantifikasikan jenis aliran yang berbeda. Aliran yang memiliki nilai Raynold kurang dari 2000 disebut aliran laminar, jika bernilai 2000 – 4000 maka aliran itu disebut transisi dan jika lebih dari 4000 disebut aliran turbulen.

$$Re = \frac{\rho \cdot V_{max} \cdot d_h}{\mu} \dots \dots \dots \text{(IITKGP lesson 22:22)}$$

Bilangan Prandtl adalah bilangan tak berdimensi yang menyatakan perbandingan antara momentum diffusivity dengan panas diffusivity atau dapat juga dinyatakan sebagai perbandingan antara viskositas fluida dengan *thermal conductivity*

$$Pr = \mu \frac{C_p}{k} \dots \dots \dots \text{(IITKGP lesson 22:22)}$$

Dimana

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

$$V_{max} = \text{Kecepatan maksimum Fluida } m/s$$

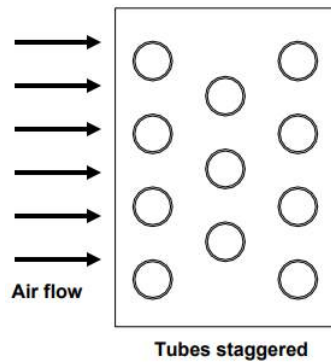
$$d_h = \text{Diameter Hidrolik } m^2$$

$$\mu = \text{dinamic Viscosity udara pada temp 26 adalah } 18,37 \cdot 10^{-6} \text{ kg/ms}$$

$$C_p = \text{Specifik panas udara } 1001 \text{ J/kgK}$$

$$k = \text{konduktivitas panas } 0,023 \text{ W/mK}$$

Maksimum kecepatan udara yang melewati *Evaporator* didapat dari Jumlah aliran udara dibagi luas area *Evaporator* $V_f = \frac{Q_f}{A_f}$ dan karena betuk konfigurasi *Evaporator* seperti gambar di bawah ini



Gambar 9 Konfigurasi Evaporator

Maka kecepatan maksimum udara yang melewati *Evaporator* dapat dirumuskan

$$V_{max} = \frac{V_f \cdot B}{B - d_o} \dots \dots \dots \text{(IITKGP lesson 22:22)}$$

Hubungan antara bilangan Nusselt dan koefisien perpindahan panas fluida dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Nu = \frac{h \cdot d}{k} \dots \dots \dots \text{(IITKGP lesson 22:22)}$$

Dimana

$$h_o =$$

Koefisien Perpindahan panas Fluida $W/m^3 K$

k = konduktivitas panas Fluida $W/m K$

Luas area kumparan sekarang dapat ditentukan sebagai berikut

$$A_i = \frac{Q_c}{h_i \Delta T_m} \dots \text{(M. Khamis Mansour 2012:381)}$$

Luas permukaan kumparan luar A_o ditentukan dari

$$A_o = \left(\frac{A_o}{A_i}\right) A_i \dots \text{(M. Khamis Mansour 2012:381)}$$

Volume Coling *coil* diasumsikan sebagai:

$$Volume = DHL \dots \text{(M. Khamis Mansour 2012:381)}$$

$$DHL = \beta A_o \text{ (M. Khamis Mansour 2012:381)}$$

Jumlah tube N_t

$$m_w = \frac{N_t}{N_p} \rho_w \left(\frac{\pi}{4} d_i^2\right) \text{ (M. Khamis Mansour 2012:382)}$$

$$N_t = \frac{4 N_p m_a}{\pi P_w d_i^2 V_w} \dots \text{(M. Khamis Mansour 2012:382)}$$

Panjang Tube (Coil), L :

$$L = \frac{A_i}{N_t \pi d_i} \dots \text{(M. Khamis Mansour 2012:382)}$$

Bagian depan *Cooling Coil*:

$$A_{face} = HL = \frac{m_a}{\rho_a V_{face}} \dots \text{(M. Khamis Mansour 2012:382)}$$

Dari Dua Persamaan diatas dapat ditentukan sebagai

$$H = \left(\frac{m_a}{\rho_a V_{face}}\right) \cdot \left(\frac{N_t \pi d_i}{A_i}\right) \dots \text{(M. Khamis Mansour 2012:382)}$$

Jumlah Baris, N_r :

$$N_r = \frac{W}{S_t} \dots \text{(M. Khamis Mansour 2012:382)}$$

Kedalaman *coil*:

$$D = N_r \cdot S_L \dots \text{(M. Khamis Mansour 2012:382)}$$

Kalkulasi temperature udara keluar

Perbedaan suhu antara aliran udara dan permukaan *Cooling Coil* diperkirakan sebagai perbedaan suhu rata - rata aritmetika seperti yang ditunjukkan dari persamaan perpindahan panas untuk udara kering.

$$Q_s = m_a C_p a (T a_1 - T a_2) \dots \text{(M. Khamis Mansour 2012:382)}$$

$$Q_s = \eta_s h_o A_o \left[\frac{T a_1 + T a_2}{2} - \frac{T s_1 + T s_2}{2} \right] \dots \text{(M. Khamis Mansour 2012:382)}$$

$$T a_2 = \left[\frac{\left(1 - \frac{\Delta NTU_o}{2}\right)}{\left(1 + \frac{\Delta NTU_o}{2}\right)} \right] \cdot T a_1 +$$

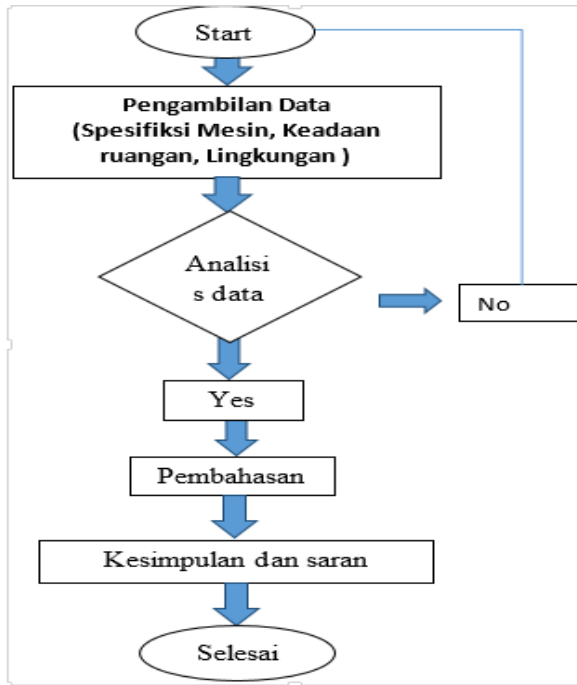
$$\left[\frac{\left(\Delta NTU_o\right)}{\left(1 + \frac{\Delta NTU_o}{2}\right)} \right] \cdot \left(\frac{T s_1 + T s_2}{2}\right) \dots \text{(M. Khamis Mansour 2012:382)}$$

METODE PENELITIAN

1. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini di awali dengan pengambilan data, seperti spesifikasi mesin, keadaan ruangan, keadaan lingkungan serta keadaan yang diinginkan. Selain itu kita juga mengambil data dari studi literatur yang nantinya

dapat membantu proses analisis. Kegiatan nya seperti terlihat pada gambar 31. Di bawah ini.



Gambar 10. Flow Proses Kegiatan Penelitian

Setelah seluruh data terkumpul kita mencoba membandingkan data spesifikasi dengan data menurut literatur sehingga diharapkan dapat ditemukannya solusi atas permasalahan yang terjadi

2. Jenis Penelitian

Metode penelitian merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan data yang tujuan dapat ditemukan, dikembangkan, dan dibuktikan, suatu pengetahuan tertentu sehingga pada gilirannya dapat digunakan untuk memahami, memecahkan, dan mengantisipasi masalah dalam bidang yang diteliti

Berdasarkan masalah yang dihadapi maka jenis penelitian yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah jenis penelitian teoritis dan penelitian rekayasa. Penelitian teoritis adalah penelitian yang menggunakan penalaran dalam memperoleh kesimpulan. Biasanya dimulai menyusun asumsi, logika berpikir dan praduga.

Sedangkan penelitian rekayasa adalah penelitian yang menerapkan ilmu pengetahuan menjadi suatu rancangan, guna mendapatkan kinerja yang sesuai dengan persyaratan yang ditentukan. Rancangan tersebut merupakan sintesis yang dipadukan menjadi suatu model dengan spesifikasi tertentu.

3. Sumber Data

Sumber data menjelaskan tentang dari mana dan dari siapa data diperoleh, data apa saja yang dikumpulkan, bagaimana informan atau subjek tersebut, dan dengan cara bagaimana data dijaring sehingga validitasnya dapat terjamin. Sumber data peneliti diperoleh dari hasil observasi dan dokumentasi.

Dalam penelitian ini sumber datanya meliputi:

1. Lokasi, yaitu sumber data yang darinya dapat diperoleh gambaran tentang situasi kondisi yang sedang berlangsung yang berkaitan dengan masalah yang sedang di bahas dalam penelitian dan pengamatan ini. Misalnya denah ruangan, temperatur dan kelembapan ruangan serta sumber panas apa saja yang mungkin mempengaruhi.
2. Data teknis yaitu sumber data yang berisi tentang spesifikasi peralatan yang akan diteliti. Data ini biasa disebut IQ dan OQ. IQ adalah *Instalation Qualification* sedangkan OQ adalah *Operational Qualification* Dalam sebuah pembangunan sebuah fasilitas produksi selalu dilakukan proses dokumentasi pada akhir instalasi guna menjadi acuan jika suatu saat nanti terjadi masalah atau di adaka penyempurnaan.
3. Studi literatur yaitu sumber data berupa teori yang berasal dari para peneliti terdahulu.

4. Teknik Pengumpulan Data

Teknik yang digunakan dalam pengumpulan data andatara lain:

- a. Observasi yaitu melakukan pengambilan data secara langsung dengan mengecek

temperature dan kelembapan relative yang ada di lokasi serta melihat kemungkinan apa saja yang menjadi pengaruh.

- b. Dokumentasi yaitu dengan meneliti bahan bahan tulisan perusahaan yang berhubungan dengan penelitina ini seperti dalam dokumen kualifikasi yang memuat data teknis mesin.
- c. Studi kepustakaan, yaitu memperoleh landasan teori mengenai perpindahan panas, dan mesin pendingin melalui literatur literatur, laporan-laporan, makalah, seminar, jurnal dan catatan kuliah yang berhubungan dengan permasalahan yang ada dan berguna dalam penyusunan skripsi ini.

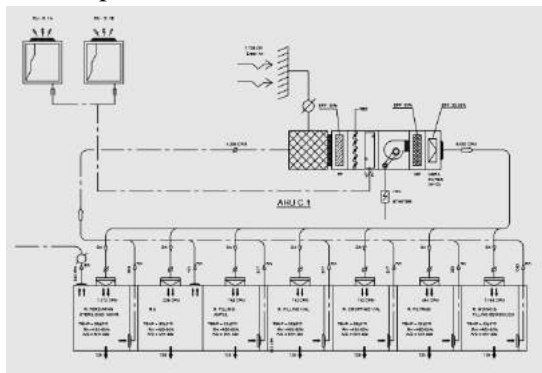
5. Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan metode pengumpulan data terlebih dahulu yang kemudian di klasifikasikan kemudian dianalisis dengan metode rekayasa menurut studi literatur sehingga memberikan pemecahan masalah.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi kapasitas Pendingin

Kapasitas pendingin ditentukan dari seberapa banyak beban panas yang akan didinginkan sehingga temperatur yang diinginkan bisa tercapai



Gambar 11. Schematic Diagram

Keterangan Gambar

PF : Pre Filter

FBD : Fluidized Bed Dryer

MF : Medium Filter

VSC Starter : Motor Blower

Hepa : Hepa Filter

1738 CFM : Fresh Air atau Udara segar

4255 CFM : Return Air atau Udara balik

Tabel 2 Pembagian Jumlah Aliran Udara

No	Ruang	P	L	Area	Tinggi	V	Change	Debit CMH	Debit CFM
1	Persiapan Sterilisasi akhir	5.5	3.5	19.25	2.8	53.9	40	2156	1268
2	Antara	3	3	9	2.8	25.2	40	1008	592.9
3	Filling ampul	3.5	3	10.5	2.8	29.4	40	1176	691.8
4	Filling Vial	3.5	3	10.5	2.8	29.4	40	1176	691.8
5	Cropping Vial	3.5	3	10.5	2.8	29.4	40	1176	691.8
6	Filtrasi	3.5	2	7	2.8	19.6	40	784	461.2
7	Mixing & Filling	4	3.5	14	2.8	39.2	40	1568	922.4

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa jumlah udara yang mengalir melalui unit adalah 5.320,1 CFM atau 9.044,17 CMH. Dengan kemungkinan adanya kebocoran pada tiap ruangan maka untuk mendapatkan tekanan yang diinginkan maka jumlah aliran udara ditambah sehingga jumlah aliran udara menjadi 6000 Cfm atau 10.200 CMH. Temperatur udara yang di rencanakan adalah 20 ± 2 °C dan kelembapan realatif yang diinginkan adalah 50 ± 5 % AHU ini memakai siklus *recycle* dimana udara setelah melewati ruangan akan dikembalikan kembali kedalam unit AHU untuk didinginkan kembali. Karena tekanan udara didalam ruangan untuk *class* steril selalu lebih tinggi maka pasti terjadi kebocoran udara kedalam area dimana tekanan udara lebih rendah, sehingga diperlukan tambahan fresh air sebesar 1738 Cfm atau 2.955 CMH. Untuk temperatur udara daerah tropis

adalah sekitar 33°C dengan kelembapan relatif 70%. Jika perkiraan udara balik dari ruangan adalah 24 °C rh 60% maka temperatur yang akan memasuki *coil* bisa diperkirakan.

$$m_1 \cdot C_1 \cdot (T - T_1) = m_2 \cdot C_1(T_2 - T)$$

m_1 = massa udara *fresh air* (kg)

m_2 = massa udara balik ruangan (kg)

C_1 = Kalor jenis udara ($J/kg \text{ } ^\circ C$)

T_1 = Temperatur udara *fresh air* ($^\circ C$)

T_2 = Temperatur udara balik ruangan ($^\circ C$)

Jumlah udara fresh adalah 2955 CMH sedangkan jumlah udara balik dari ruangan adalah 7251 CMH.

Massa udara fresh adalah

$\rho = \frac{m}{V}$, Jika massa jenis udara adalah 1.2 kg/m^3

$$m_1 = \rho \cdot V_1 \quad m_1 = 1,2 \cdot 2955 \quad m_1 = 3546 \text{ kg}$$

$$m_2 = \rho \cdot V_2 \quad m_2 = 1,2 \cdot 7251 \quad m_2 = 8701,2 \text{ kg}$$

$$m_2 C_1(T - T_2) = m_1 C_1(T - T_1)$$

$$8701,02 \cdot C_1(T - 24) = 3544 \cdot C_1(32 - T)$$

$$12.247,2T = 322.300$$

$$T = \frac{322.300,8}{12.247,2}$$

$$T = 26,32 \text{ } ^\circ C$$

Untuk perbandingan nilai rh juga sama seperti rumus temperature dimana RH udara luar adalah 70 sedangkan rh udara balik adalah 60.

Maka,

$$m_1(Rh_1 - Rh) = m_2(Rh - Rh_2)$$

$$3546(70 - Rh) = 8701,2(Rh - 60)$$

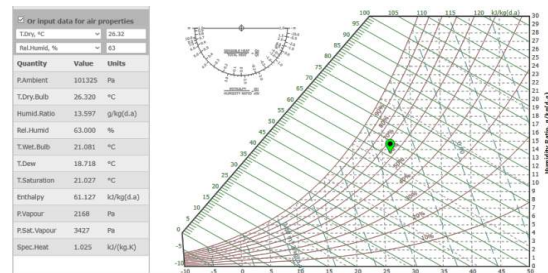
$$248220 - 3546Rh = 8701Rh - 522060$$

$$770280 = 12247Rh$$

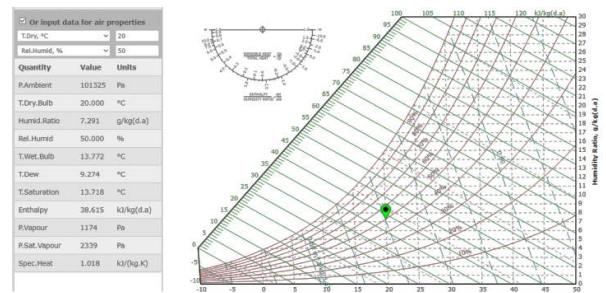
$$Rh = \frac{770280}{12247}$$

$$Rh = 63\%$$

Maka karakteristik udara yang akan masuk AHU adalah temperatur 26,32 °C dan kelembapan relative 63%



Gambar 12. Psychrometrik Chart Temperatur 26.32 Humidity 63%



Gambar 13. Psychrometrik Chart Temperatur 20 Humidity 50%

Dari gambar psychrometric chart kita dapat mencari data data yang lainyang di perlukan dalam menghitung jumlah daya pendingin.

Data temperatur masuk unit AHU

Temperatur	: 26,32 °CDB
Kelembapan relativ	: 63 %
Terperatur basah	: 21,13 °CWB
<i>Dew Point</i>	: 18,71 °CDP
Rasio Kelembapan	: 0,0135 kg/kg
Enthalpy	: 60,962 Kj/KG

Data temperatur udara unit rencana

Temperatur	: 20 °CDB
Kelembapan relativ	: 50 %
Terperatur basah	: 13,84 °CWB
<i>Dew Point</i>	: 9,27 °CDP
Rasio Kelembapan	: 0,0073 kg/kg
Enthalpy	: 38,52 kJ/kg

Jika jumlah aliran udara dan karekteristik udara sudah diketahui maka beban pendingin dapat ditentukan

$$Q = V \cdot \rho \cdot h$$

Dimana

$$Q = \text{Kapasitas Panas } kW$$

$$V = \text{Volume, Jumlah udara } m^3/s$$

$$\rho = \text{massa jenis air } (kg/m^3)$$

$$\Delta h = \text{Selisih enthalpy } (kJ/kg)$$

$$Q = 2,83 \cdot 1,202 \cdot (60,96 - 38,52)$$

$$Q = 75,40 kW$$

$$Q = 257.265 BtuH$$

Dari jumlah kapasitas pendingin terdapat sedikit ketidak sesuaian dimana daya yang dimiliki alat adalah 250.000 BtuH sedangkan kebutuhanya sedikit lebih besar.

Tabel 3. Data AHU

Description	Specification	Verification	
		Yes	No
AHU C.1			
Merk	Flow Master		
Manufacture	PT. Gracia Ivensys		
Model Unit	9 DH DX 3a-45		
Serial Number	FM 0800231.12		
Air Flow	6000 CFM		
St. Pressure	6.0"WG		
Type Coil	DX System		
Dimension Casing (HxWxL)	1328 x 1700 x 3100mm		

Tabel 4. Teknikal data Cooling Coil

Description	Specification	Verification	
		Yes	No
Cooling Coil			
Type	Direct Expansion		
Total Cooling	250,000 Btu/h		
Row / FPI / Circui	6 / 12 / 2		
Face Area	1.5 m ²		
Dimension	1067 x 1400 mm		

Sumber: Data Pengukuran Tambahan

Diameter luar pipa *coil* d_o : 13,41 mm
 Diameter dalam pipa *coil* d_i : 12,09 mm
 Jarak vertikal antar pipa B : 33 mm
 Jumlah pipa satu *row* : 32
 Jarak pipa antar baris C : 38 mm
 Jarak antar *fin* D : 2,12 mm
 Tebal *Fin* t_f : 0,38 mm

Dari hasil perhitungan didapat temperatur udara 12,66 °C dengan kelembapan relative 98,74 (dilihat dari *Psychometric chart*) maka temperatur ruangan yang mampu dicapai adalah tempertur yang memiliki dew Point bekisar 13,66 °C juga.

Dari pengambilan data ruangan maka temperatur udara ruangan saat ini adalah 22°C dengan kelembapan relatif 60%. Jika di cek dari *Psychometric chart* maka dewpointnya adalah 13,88 °C yang berarti dewpoint udara yang di hasilkan oleh Unit AHU dan dewpoint di ruangan sudah hampir sama sehsehingga bisa dikatakan performa unit pendingin sudah mencapai maksimum

Untuk Hasil dari perhitungan total daya yang dibutuhkan oleh *Cooling Coil* adalah 73,2 kW sedangkan Untuk Kapasitas yang dibutuhkan untuk mendapatkan temperatur 20 °C dengan kelembapan relative 50% adalah sebesar 75,4 kW jika kapasitas dari compressor adalah 73,27 kW maka temperatur maksimum yang mampu di capai oleh unit AHU adalaha berkisar temperatur 22 °C dengan kelembapan 55%. Hal ini membuktikan jika temperatur udara rencana tidak bisa di capai karena nilai dewpoint dari temperatur udara rencana adalah 10,69 °C.

PENUTUP**Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dalam skripsi ini maka dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Menganalisa desain suatu *Cooling Coil* pada unit AHU dipengaruhi Perbandingan jumlah beban panas udara yang akan didinginkan dengan total daya *Cooling Coil*
2. Kelembapan dan temperatur udara yang mampu tercapai adalah 12,66 °C dengan kelembapan 98,7 % yang berarti memiliki dewpoint 12.46 °C sedangkan temperatur rencana memiliki dewpoint 9.27 °C
3. Dimensi *Coil* mempengaruhi seberapa luas bidang perpindahan panas dan seberapa lama persentuhannya, sehingga nilai keofisien perpindahan panas dari udara maupun *refrigerantt* bisa di ketahui

DAFTAR PUSTAKA

- Ashrae, *Aplication Handbook(SI)*, 1999
 Ashrae, *Fundamental Handbook (SI)*, 2001
 Ashrae, *System and Equipment Handbook (SI)*, 2000
 Holman, J.P, *Heat Transfer*, Mc Graw, Edisi 10, New York 2010
 Indian Institute Of Technology Kharagpur, *Lesson 22 Condensers & Evaporators*, India
 Fiko, .”Cara pembuatan obat yang benar”28 mei 2018.<http://farmasiindustri1.blogspot.com/2015/08/cpob-cara-prmbuatan-obat-yang-baik.html?m=1>
 Mansour, M.Khamis And M. Hasab, *Thermal Design of Cooling And Dehumidifying Coils*, Mechanical Engineering Departement, Faculty Of Engineering, Bierut Arab University, 2012
 Setyo Darmanto, P, Deddy Dwi Arjanto dan Muhammmad Ismail, *Kaji Numerik Dan Eksperimental Perpindahan Panas Pada Evaporator Untuk Mendinginkan Udara*, Teknik Mesin Vol.20 2017

ANALISIS KETAHANAN UMUR PEMAKAIAN BAN PADA MOBIL PENUMPANG JENIS SEDANTYPE F30 DENGAN MESIN BERKAPASITAS 1998CC

Dedy Krisbianto, S.T., M.T.¹, Arianto Herbang Silalahi²

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Krisnadwipayana
Jl. Raya Jatiwaringin, Pondok Gede, Jakarta Timur, Jakarta 13077

ABSTRACT

Tires are an important part of a vehicle whose function is to reduce vibrations caused by poor road surface contours, providing stability between vehicles and road surfaces to increase acceleration and facilitate movement. Road surface texture is an important factor in providing safety and comfort for road users. One of the factors influencing the wear of tires on F30 type sedans with 1998cc engines is the thickness of the grooves and the treadwear indicator. The theoretical calculations made in research on tire use are done by correlating between the average speed of the vehicle, the load on the rear wheels, and the road surface to the centrifugal force, traction, and rolling resistance of the tire with a load of 2 passengers resulting in centrifugal force on tires 372, 21 kN, traction 1034.92 kN, and rolling resistance 17.59 kN. Tests performed on three different tire brands show that the faster the driving speed, the faster the tire flow erodes, the tire flow indicator or treadwear will decrease by 0.0041 mm to 0.0048 mm per hour. This proves that the test of this theoretical calculation can be a reference in average driving speed.

Keywords: Tires, Centrifugal Force, Attraction, Rolling Resistance, treadwear indicator

1. PENDAHULUAN

Ban adalah bagian penting dari suatu kendaraan yang berfungsi untuk mengurangi getaran yang disebabkan kontur permukaan jalan yang buruk, memberikan kestabilan antara kendaraan dengan permukaan jalan untuk meningkatkan percepatan dan mempermudah pergerakan. Penemuan penting dari sebelum abad ke 18 ini telah mengantarkan pada suatu penemuan yang efektif dalam memecahkan berbagai macam persoalan terutama dalam dunia otomotif. Ban merupakan unsur keselamatan yang sangat penting bagi kendaraan, namun juga dapat menjadi unsur kecelakaan yang sering terjadi di jalan. Jenis dari permukaan sangat menentukan gaya gesek yang terjadi pada permukaan yang kasar akan mengalami friction yang lebih besar daripada permukaan yang halus⁶. Gaya gesek dapat dinyatakan sebagai mekanisme gesekan antar dua permukaan bersentuhan, yang menimbulkan suatu Gaya yang bekerja antara atom permukaan benda satu terhadap permukaan bendalainnya⁴. Hal ini selalu timbul meskipun pada permukaan yang stationary (diam), tapi sangat kelihatan ketika salah satu permukaan saling bergesekan satu sama lain. Jenis dari permukaan sangat menentukan Gaya gesek yang terjadi pada permukaan yang kasar dapat

mengalami friction yang lebih besar dari padapermukaan yang halus. Ketika friction dalam bentuk Gaya yang saling berlawanan, maka friction dapat dikelompokkan menjadi 5 jenis, yaitu static, limiting, rolling, dan fluid. Dari 5 jenis diatas yang sering terjadi pada part kendaraan bermotor adalah sliding, rolling, dan fluid friction⁴.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gaya Gesek (Friction)

Gaya gesek dapat dinyatakan sebagai mekanisme gesekan antar dua permukaan bersentuhan, yang menimbulkan suatu Gaya yang bekerja antara atom permukaan benda satu terhadap permukaan benda lainnya⁵. Hal ini selalu timbul meskipun pada permukaan yang stationary (diam), tapi sangat kelihatan ketika salah satu permukaan saling bergesekan satu sama lain. Jenis dari permukaan sangat menentukan Gaya gesek yang terjadi pada permukaan yang kasar dapat mengalami friction yang lebih besar dari pada permukaan yang halus. Ketika friction dalam bentuk Gaya yang saling berlawanan, maka friction dapat dikelompokkan menjadi 5 jenis, yaitu static, limiting, rolling, dan fluid. Dari 5 jenis di atas

yang sering terjadi pada part kendaraan bermotor adalah sliding, rolling, dan fluid friction⁵

a. Static Friction

Static friction merupakan friction yang mempertahankan sesuatu untuk tetap dalam keadaan stationary (diam). Ketika sebuah partikel berada di level permukaan, maka ini terjadi karena adanya static friction. Dengan begitu tidak ada sesuatu yang dapat selalutetap pada posisinya.

b. Limiting Friction

Jika sebuah Gaya secara bertahap bertambah ketika terjadi gesekan antara dua permukaan yang saling bergesekan maka friction juga bertambah dan membatasi pergerakan. Pada titik tertentu dapat tercapai titik dimana friction tidak dapat lagi menjaga permukaan dari sliding. Friction pada titik ini disebut sebagai limiting friction.

c. Sliding Friction

Sliding friction adalah tahanan yang timbul pada pergerakan/perputaran ketika pada dua permukaan meluncur satu sama lain. Sliding friction lebih kecil dari limiting friction karena hanya memerlukan force yang kecil untuk mencegah sliding dari pada waktu pertama memulai mendorong atau menggerakkan sesuatu, cobalah dengan cara mendorong sesuatu yang berat sepanjang lantai atau melewati atas dari sebuah meja. Sliding friction timbul ketika sebuah shaft berputar pada plain bearing atau ketika sebuah bidang meluncur satu sama lain

d. Rolling Friction

Ketika sebuah permukaan dibatasi dengan roller atau ball maka tidak terjadi slide tetapi yang terjadi adalah saling bergerak. Friction yang terjadi antara permukaan dan ball disebut sebagai rolling friction dan ini lebih kecil dari sliding friction. Ball dan roller bearing digunakan untuk mengurangi friction, maka untuk alasan inilah ball dan roller bearing termasuk anti friction bearings.

e. Fluid Friction

Fluid juga mempunyai friction tetapi berbeda dengan jenis-jenis friction yang telah dibahas diatas. Jika dua permukaan

yang saling bergesekan dibatasi dengan lapisan oli, maka friction sangat berkurang walaupun masih tetap ada friction yang terjadi. Friction tidak lagi terjadi antara permukaan yang saling bergesekan tetapi terjadi pada oli pelapis diantara dua permukaan tersebut. Fluida dapat berupa cairan atau gas, cairan mempunyai friction yang lebih besar dari pada gas. Friction yang terjadi pada fluida disebabkan oleh molekul oli pada setiap lapisan oli saling tarik menarik satu sama lain. Oli cenderung selalu menempel pada permukaan, maka lapisan oli mempunyai kecepatan yang berbeda pada setiap lapisan oli tetap yang tertutup pada permukaan yang tidak bergerak.

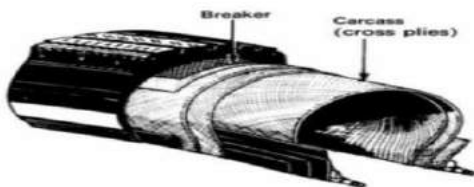
Ban adalah bagian penting dari sebuah kendaraan merupakan peranti yang menutupi velg pada roda dan digunakan untuk melindungi roda dari aus dan kerusakan, mengurangi getaran yang disebabkan permukaan jalan yang tidak teratur, serta memberikan kestabilan antara kendaraan dan tanah untuk meningkatkan percepatan dan mempermudah pergerakan. Ban berfungsi untuk memikul beban dari kendaraan dan meredam kejutan-kejutan yang disebabkan oleh keadaan permukaan jalan³. Ban adalah material komposit, biasanya dari karet alam / karet isoprena yang digunakan untuk ban truk dan ban mobil penumpang seperti pada sabuk tapak, sidewall, carcass ply, dan inner liner. Serbuk-serbuk ban bekas adalah suatu jaringan tiga dimensi atau suatu produk ikatan silang dari karet alam dan karet sintesis diperkuat dengan carbon black yang menyerap minyak yang tidak kental dari semen aspal selama reaksi yang dapat mengalami pengembangan (Swelling) dan pelunakan (Softening) dari serbuk ban bekas⁹. Ban terdiri dari bahan karet atau polimer yang sangat kuat diperkuat dengan serat-serat sintetik dan baja yang sangat kuat yang dapat menghasilkan suatu bahan yang mempunyai sifat-sifat unik seperti kekuatan tarik yang sangat kuat, fleksibel, ketahanan pergeseran yang tinggi⁹.

2.2 Jenis-jenis ban

Berdasarkan konstruksi ban, dapat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu ban bias, radial, dan belted. Perbedaan Kontruksi yang dimaksud adalah berdasarkan pada arah benang lawon. Benang lawon yang telah ditenun dan merupakan lembaran kain untuk lapisan ban disebut ply. Sedangkan lembaran ply yang telah tersusun pada konstruksi ban disebut carcass³.

1. Ban bias

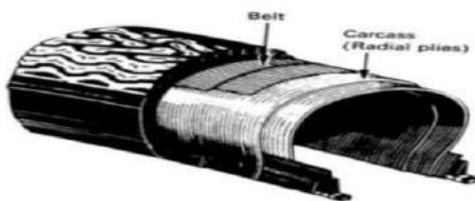
Ban bias adalah ban luar yang benang kanvasnya disusun berselangse cara diagonal terhadap pada garis lingkaran tengah telapak. Arah benang lawon membentuk sudut 25° - 40° terhadap garis tengah pada telapak.



Gambar 2.1 Kontruksi ban bias³

2. Ban Radial

Pada ban radial, benang lawon atau kawat baja yang ditenun untuk ply tersusun melingkar. Arah benang kawat baja tersebut dapat membentuk sudut 90° dengan garis tengah pada telapak ban³. Kontruksi ban radial, biasanya dilengkapi sabuk (belt) beberapa lapis untuk memperkuat telapak. Sabuk tersebut berfungsi agar telapak ban dapat rata menyentuh jalan sehingga keausannya merata.



Gambar 2.2 Kontruksi ban radial³

3. Ban Belted

Disebut ban belted karena mempunyai sabuk (belt) yang terbuat dari benang atau kawat baja. Jenis ban ini dibedakan menjadi dua, yaitu ban bias belted dan ban radial belted. Keduanya menggunakan sabuk, perbedaannya terdapat pada konstruksi ply. Arah benang lawonya yang pada ply untuk ban bias belted tersusun miring (bias) dan membentuk sudut 25° - 40° . Sedangkan pada radial belted tersusun melingkar dan membentuk sudut 90° ³.

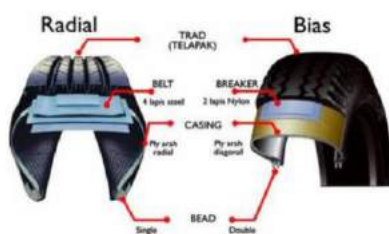
2.3 Konstruksi dan struktur ban

Ban tersusun atas empat bagian utama: carcass, tread breaker, dan bead. Atau pula dapat dibagi menjadi bagian yang mempunyai fungsi utamasebagai berikut: crown, shoulder, sidewall, dan bead. Kontruksi ban adalah sebagai berikut³:

- a. Casing / kanvas (carcass)
Berfungsi menahan tekanan angin yang tinggi. Untuk ban mobil penunjang casing terbuat dari nylon, polyters atau rayon sedangkan untuk ban truk dan bus terbuat dari nylon (bias) dan baja (radial).
- b. Telapak (tread)
Merupakan bagian ban yang bersentuhan dengan permukaan jalan. Berfungsi untuk melindungi casing keausan atau kerusakan luar.
- c. Dinding samping (side wall)
Merupakan lapisan karet yang melindungi casing dari kerusakan luar.
- d. Breaker dan sabuk (belt)
Sabuk terletak di bawah telapak, pada ban radial biasanya dari baja yang berfungsi membuat stabil telapak ban dan daya penyetiran yang baik serta umur pakai yang lama. Sedangkan breaker untuk ban bias untuk meredam kejutan.
- e. Bead
Berfungsi mencegah ban terlepas dari velg pada saat diisi oleh angin dan terbebani.
- f. Inner liner
Terdapat pada ban tubeless yang berfungsi sebagai pengganti ban dalam.

2.4 Treadwear Indicator

Treadwear indicator adalah tanda atau ciri fisik yang terletak tepat diantara kedua sisi bunga ban. Diperkuat dengan garis tebal yang melintang diantara kedua sisi ban yang mengindikasikan kondisi penggunaan ban. Apabila ketebalan ban menyentuh garis tersebut, maka ban harus diganti. Bahaya yang diterima bila ketebalan sudah menyentuh garis tersebut pada saat hujan, maka ban mengalami aqua planing (mengambang) dan sangat berbahaya bagi pengguna kendaraan tersebut.



Gambar 2.3 Konstruksi ban 3



Gambar 2.4 Treadwear Indicator 2

2.5 Sistem Kode Spesifikasi Ban

Ban mempunyai ukuran yang telah baku sebagaimana disepakati oleh berbagai pabrikan ban. Sistem kode spesifikasi ban terdapat pada side wall.



Gambar 2.5. Sistem Kode Spesifikasi Ban 2

Keterangan:

Lebar ban dalam inch (ban bias) atau mm (ban radial).

Flatness atau kedataran permukaan ban.

Jenis ban yang digunakan.

Diameter velg pada ban.

Tabel 2.1. Kecepatan Maksimum Yang

Kode alphabet	Kecepatan maks. KM/jam	Kode alphabet	Kecepatan maks. KM/jam
K	110	S	180
L	120	T	190
M	130	U	200
N	140	H	210
P	150	V	240
Q	160	W	270
R	170	Y	300

Diizinkan Ban 2

Tabel 2.2 Index Beban Maksimum Ban Yang

Load Index	Kg	Load Index	Kg	Load Index	Kg
65	290	80	450	95	690
66	300	81	462	96	710
67	307	82	475	97	730
68	215	83	487	98	750
69	325	84	500	99	775
70	335	85	515	100	800
71	345	86	530	101	825
72	355	87	545	102	850
73	365	88	560	103	875
74	375	89	580	104	900
75	387	90	600	105	925
76	400	91	615	106	950
77	412	92	630	107	975
78	425	93	650	108	1000
79	437	94	670		

Diizinkan 2

Untuk kode pemakaian ban depan atau ban belakang biasanya di tulis dengan huruf(alphabet) kode "F" front berarti ban

tersebut untuk ban depan sedangkan “R” rear ban tersebut untuk ban belakang. Kode compound ban ditulis dengan kode huruf, yang menunjukkan ban itu mempunyai compound yang lunak sampai yang keras.

Kode “S” = Soft (compound lunak)

Kode “M” = Medium (compound sedang)

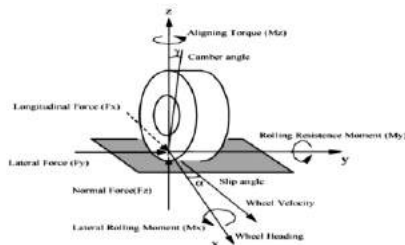
Kode “H” = Hard (compound keras)

Jadi kode M/C = Medium Compound atau compound ban sedang

Arah rotasi atau perputaran ban ditunjukkan dengan tanda panah, pemasangan ban harus sesuai dengan arah panah hal ini karena arah kembangan ban dapat sempurna menempel pada aspal, atau mengalirkan air pada jalan basah serta mendapatkan grip yang baik. Jika pemasangan terbalik ban tidak dapat menempel pada jalan dan traksinya kurang baik, sehingga ban terasa lebih licin yang bisa membahayakan pengendara.

Gaya-gaya pada ban

Pada saat kendaraan berjalan lurus, ban kemungkinan hanya menerima Gaya vertikal momen torsi, dan Gaya longitudinal akibat pengereman atau percepatan. Ban dapat mengalami berbagai Gaya dan momen pada saat kendaraan berbelok. Pada saat kendaraan berbelok, ban mengalami Gaya ke samping yang dapat mengakibatkan arah gerak ban menjadi berubah sebesar sudut slip. Pada Gambar 2.6 ditunjukkan Gaya momen yang bekerja pada ban, termasuk juga sudut slip (α).



Gambar 2.6. Gaya Yang Bekerja Pada Ban13

Ban bekerja berdasarkan tiga Gaya, yaitu: Gaya normal atau vertikal (F_z), Gaya longitudinal (F_x) dan gaya lateral (F_y). Gaya vertikal (F_z) diakibatkan oleh Gaya berat kendaraan dan momen inersia yang mengarah ke arah vertikal. Gaya longitudinal (F_x) diakibatkan oleh gaya inersia percepatan atau pengereman dan juga mungkin diakibatkan oleh komponen longitudinal dari gaya centrifugal kendaraan. Gaya lateral (F_y) disebabkan oleh gaya centrifugal kendaraan. Disamping itu karena umumnya rodanya mempunyai sudut camber (γ), maka terjadi dorongan camber ke arah samping ($F_{y\gamma}$). Gaya lain yang dapat mengakibatkan Gaya pada ban adalah Gaya angin dan Gaya tahanan bergelinding (rolling resistance). Tiga momen juga bekerja pada ban, yaitu momen terhadap sumbu vertikal disebut aligning torque (M_{At}), momen terhadap sumbu longitudinal ban yang disebut momen rolling (M_{Rt}) dan momen terhadap sumbu lateral yang disebut momen tahanan rolling (M_{RR}). Momen terhadap sumbu lateral juga dapat berupa momen pengereman dan juga berupa momen percepatan. Aligning torque terjadi karena pada saat ban berputar dan berbelok, Gaya reaksi dari jalan terhadap ban dapat berada di luar sumbu z dengan jarak t_p yang disebut pneumatic trail. Torsi yang disebabkan oleh Gaya reaksi lateral disebut jarak t terhadap sumbu z adalah aligning torque.

Apabila suatu keadaan bergerak dengan kecepatan tetap V pada bidang datar atau miring dengan lintasan berbentuk suatu lengkung seperti lingkaran, maka pada kendaraan tersebut bekerja Gaya kecepatan V dan Gaya sentrifugal F_c . Gaya sentrifugal mendorong kendaraan secara radial keluar dari lajur jalannya, berarah tegak lurus terhadap Gaya kecepatan V . Gaya ini menimbulkan rasa tidak nyaman pada si pengemudi. Gaya sentrifugal (F) yang terjadi adalah:

$$F = m \cdot a \quad (\text{N}) \quad (\text{Daftar Pustaka 13, hal 62})$$

Atau

$$F_c = M \times \frac{V^2}{R} \quad (\text{kN}) \quad (\text{Daftar Pustaka 13, hal 62})$$

Dimana:

- M = Massa (kg)
- a = Percepatan sentrifugal(m/s²)
- V = Kecepatan kendaraan (m/s)
- R = Jari-jari lengkung lintasan (m)

Untuk dapat mempertahankan kendaraan tersebut tetap pada sumbu lajur jalannya, maka perlu adanya Gaya yang dapat mengimbangi Gaya tersebut sehingga terjadi suatu keseimbangan. Gaya gesekan melintang (Fs) adalah besarnya gesekan yang timbul antara ban dan permukaan jalan dalam arah melintang jalan yang berfungsi untuk mengimbangi Gaya sentrifugal. Perbandingan antara Gaya gesek melintang dan Gaya normal yang bekerja disebut koefisien gesekmelintang.

Kemiringan melintang permukaan pada lengkung horizontal (superelevasi) Komponen berat kendaraan untuk mengimbangi Gaya sentrifugal diperoleh dengan membuat kemiringan melintang jalan. Kemiringan melintang jalan pada lengkung horizontal yang bertujuan untuk memperoleh komponen berat kendaraan guna mengimbangi Gaya sentrifugal biasanya disebut superelevasi. Semakin besar superelevasi semakin besar pula komponen berat kendaraan yang diperoleh. Gaya longitudinal (Fx) dihasilkan oleh rumus berikut.

$$F_x = F_Z \times \mu = m \times g \times \mu \text{ (Daftar Pustaka 12, hal 66)}$$

Dimana:

- F_x = Gaya Longitudinal / Traksi (N)
- F_Z = Gaya Sentrifugal (N)
- μ = Koefisien gesek
- m = Massa (kg)
- g = Gaya Gravitasi (9,8)

Kondisi jalan berpengaruh terhadap umur pakai ban, salah satu parameternya adalah tahanan gulir. Tahanan gulir (rolling resistance) adalah segala gaya-gaya luar (external forces) yang berlawanan dengan arah gerak kendaraan yang berjalan di atas jalur jalan atau permukaan tanah. Rolling resistance tergantung pada kekerasan dan kemulusan permukaan jalan. Semakin keras dan mulus atau rata jalan semakin kecil. Untuk

ban karet, tekanan dan keadaan permukaan ban yang terkena pengaruh, baik ban baru ataupun lama, hingga jenis kembangan pada ban tersebut.

Koefisien tahanan gelinding ditentukan oleh persamaan berikut

$$F_{rr} = C_{rr} \times F_Z = C_{rr} \times m \times g \text{ (Pustaka 9, hal 52)}$$

Dimana:

- F_{rr} = gaya tahanan gelinding
 - C_{rr} = koefisien gesekan gelinding (CRF)
 - F_Z = Gaya Normal (kN).
 - m = Massa (kg)
 - g = Gaya Gravitasi (9,8)
- C_{rr} adalah gaya yang diperlukan untuk mendorong (atau menarik) kendaraan beroda ke depan (dengan kecepatan konstan di permukaan datar, atau kemiringan nol, dengan hambatan udara nol) per satuan gaya berat.

Berdasarkan rumus yang sudah diperoleh, untuk penentuan koefisien gesek dan rolling resistance ditentukan berdasarkan tabel berikut.

Tabel 2.3 Koefisien Gesek dan Rolling Resistance Berdasarkan Kondisi Jalan15

No.	Road Type	Friction Coefficient (μ)	Rolling Resistance Coefficient (C _r)
1	Dry asphalt/concrete	1,00	0,014
2	Wet asphalt	0,70	0,017
3	Dry earth road	0,65	0,050
4	Wet earth road	0,55	0,080
5	Gravel	0,60	0,020
6	Sand	0,60	0,300
7	Hard-packed snow	0,15	0,016
8	Ice	0,08	0,014

3. METODE PENELITIAN

Variabel Penelitian

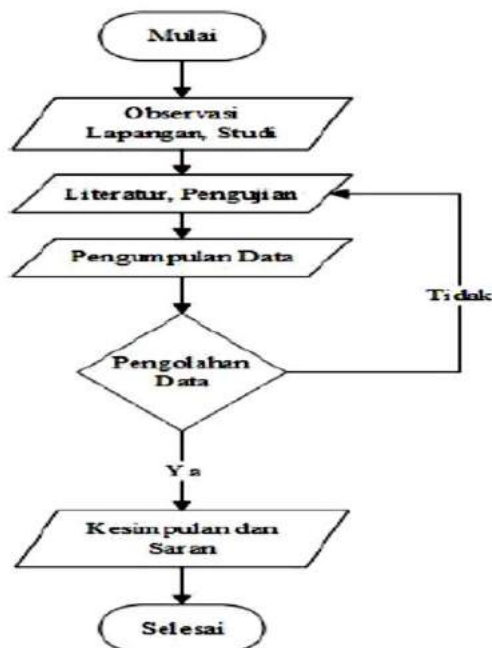
Variabel yang digunakan dalam pengukuran ini adalah variabel bebas dan variabel terikat

Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya bebas ditentukan oleh peneliti. Variabel yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah variasi kecepatan berkendara, bobot tumpuan pada ban belakang, dan kondisi permukaan jalan (kering dan basah) pada mobil penumpang jenis sedan tipe F30 dengan mesin berkapasitas 1998cc.

Variabel Terikat

Variabel terikat yaitu variabel yang faktornya diamati dan diukur untuk menentukan pengaruh yang disebabkan oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai gaya traksi ban belakang pada mobil penumpang jenis sedan tipe F30 dengan mesin berkapasitas 1998cc.



Gambar 3.1 Langkah-langkah penelitian

Prosedur Penelitian

Berikut ini adalah prosedur yang digunakan dalam penelitian ini:

Metode Pengujian

Metode Pengujian ini menggunakan metode eksperimen, yaitu suatu metode untuk mencari hubungan sebab akibat antara dua faktor yang berpengaruh. Eksperimen dilaksanakan dengan kondisi dan peralatan yang diselesaikan guna memperoleh data tentang pengaruh kecepatan berkendara terhadap nilai gesekan (friction) ban belakang pada mobil penumpang jenis sedan tipe F30 dengan mesin berkapasitas 1998cc merek dagang BMW.

Pengukuran treadwear indicator menggunakan tyre tread depth untuk mengetahui kedalaman alur ban. Pengukuran dilakukan oleh mekanik di bengkel dengan standar proses yang digunakan. Berikut adalah ilustrasi dari tyre tread depth dan pengukuran kedalaman alur.



Gambar 3.2 Tyre Tread Depth dan Pengukuran Kedalaman Alur Ban



Gambar 3.3 Sampel Material dan Pengukuran

Tabel 3.1 Komposisi material ban11

Komposisi	Ukuran Formula
NR	100
N550	53
Zinc Oxide	5
Stearic Acid	2
Anioxidant	2
Antiozonant	1
Sulphur	2,5
Accelerator	1,5
Retarder	0,4
TOTAL	163.0

Kedalaman Alur Ban

Berikut adalah komposisi material ban dan sifat fisik dari ban yang umum digunakan:

Tabel 3.2 Sifat fisik ban11

Pengujian	Ukuran	Satuan
<i>Hardness</i>	69	
<i>Rebound Resience</i>	51,2	
<i>Density</i>	1,145	g cm ⁻³
<i>Tensile Strength</i>	16,5	MPa
<i>Elongation at break</i>	289	%
<i>S200</i>	12,4	MPa
<i>S300</i>		
<i>Tear Strength</i>	15,9	N mm ⁻¹
<i>Heat Build Up</i>	16	C
<i>Heat Build Up Set</i>	2	%

Langkah Pengujian

Langkah pengujian eksperimental mekanisme pengujian nilai gaya gesek (friction) ban belakang pada mobil penumpang jenis sedan tipe

F30 dengan mesin berkapasitas 1998cc merek dagang BMW:

Pasang ban merek dagang Bridgestone, Pirelli dan Continental dengan ukuran 245/45 R18.

Isi tekanan udara ban dengan tekanan udara 28-32 Psi

Operasikan mobil dengan mesin berkapasitas 1998cc merek dagang BMW dengan kecepatan 30 km/jam

Ukur dan catat treadwear indicator menggunakan tyre Tread Depth untuk mengukur kedalaman alur ban.

Ulangi langkah 3 dan langkah 4 diatas pada variasi kecepatan 40 km/jam dan 50 km/jam.

4 . PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Pengujian

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan sifat-sifat mekanik yaitu koefisien gesek yang terjadi antara roda dengan jalan dan Gaya gesek (friction) mobilpenumpang jenis sedantipe F30 dengan mesin berkapasitas 1998cc merek dagang BMW. Selanjutnya data yang didapatkan dilakukan perhitungan sebagai berikut:

A. Pengujian

Pengujian yang dilakukan difokuskan untuk roda ban belakang pada mobilpenumpang jenis sedantipe F30 dengan mesin berkapasitas 1998cc merek dagang BMW.

B. Kecepatan berkendara

Gaya gesek yang terjadi pada ban belakang mobilpenumpang jenis sedantipe F30 dengan mesin berkapasitas 1998cc merek dagang BMW dicari dengan memvariasikan kecepatan berkendara yaitu dengan variasi kecepatan 30 km/jam, 40 km/jam, dan50 km/jam.

C. Massa tumpu roda

Massa tumpu roda didapatkan dengan menghitung beban yang menumpu pada setiap roda. Tabel 4.1 dibawah ini menunjukkan massa tumpu yang ditimpapada roda belakang dengan beban kosong dan beban penumpang 2 orang.

Tabel 4.1. Beban Tumpu Roda

No	Kecepatan Berkendara (m/s)	Massa Tumpu Roda (kg)		
		Beban Kosong	Beban 2 Penumpang	Beban Maksimal
1	8,33	300	410	490
2	13,89	300	410	490
3	22,22	300	410	490

D. Gaya Sentrifugal (Fc)

Gaya sentrifugal yang diperoleh dengan variasi kecepatan rencana berkendara 30 km/jam, 40 km/jam, dan 50 km/jamberdasarkan beban tumpuan dengan perhitungan sebagai berikut:

Contoh perhitungan koefisien gesek dengan kecepatan rencana 30 km/jam:

$$F_C = M \times \frac{V^2}{R}$$

Dimana nilai V adalah

$$30 \text{ km/jam} = 8,33 \text{ m/s}$$

$$40 \text{ km/jam} = 11,11 \text{ m/s}$$

$$50 \text{ km/jam} = 13,89 \text{ m/s}$$

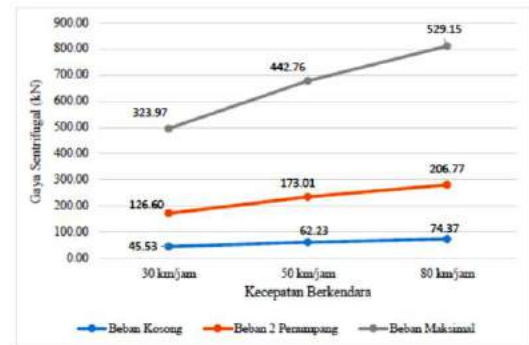
Sementara itu, nilai R diperoleh dari jari-jari roda yaitu 18 inch atau sama dengan 0,4572 m.

Maka dihasilkan perhitungan sebagai berikut:

Untuk perhitungan gaya sentrifugal dengan kecepatan berkendara rencana 40 km/jam dan 50 km/jam didapatkan hasil seperti pada tabel 4.2 di bawah ini:

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan gaya sentrifugal pada Ban Belakang

No	Kecepatan Berkendara (m/s)	Massa Tumpu Roda (kg)			Gaya Sentrifugal (kN)		
		Beban Kosong	Beban 2 Penumpang	Beban Maksimal	Beban Kosong	Beban 2 Penumpang	Beban Maksimal
1	8,33	300	410	490	45,53	62,22	74,36
2	13,89	300	410	490	126,59	173,01	206,77
3	22,22	300	410	490	323,967	442,754	529,146



Gambar 4.1 Gaya Sentrifugal (Fc) pada roda belakang

Berdasarkan tabel dan grafik di atas, semakin tinggi kecepatan berkendara maka semakin besar gaya sentrifugal yang dihasilkan. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai gaya sentrifugal pada kecepatan 50 km/jam dengan beban 2 penumpang untuk roda belakang adalah sebesar 1034,92 kN.

E. Gaya Traksi

Gaya Traksi antara ban dan jalan didapatkan dengan perhitungan sebagai berikut: Contoh perhitungan Gaya traksi dengan kecepatan rencana 30 km/jam pada ban belakang dengan beban kosong dengan kondisi permukaan aspal kering dimana μ diperoleh pada tabel 2.3 adalah sebagai berikut:

$$F_x = F_z \times \mu$$

$$F_x = 300 \text{ kg} \times 9,8 \times 1$$

$$F_x = 2,940 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan Gaya traksi dengan kecepatan berkendara rencana 40 km/jam dan 50 km/jam pada ban belakang didapatkan hasil seperti pada tabel 4.3 dibawah ini:

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan gayatraksi pada Ban Belakang

No	Gaya Traksi (kN)					
	Beban Kosong		Beban 2 Penumpang		Beban Maksimal	
	Kering	Basah	Kering	Basah	Kering	Basah
1	2,940	2,058	4,018	2,812	4,802	3,361



Gambar 4.2 Gaya Traksi dengan beban tanpa penumpang



Gambar 4.3 Gaya traksi dengan beban 2 penumpang

Berdasarkan hasil perhitungan gayatraksi pada ban belakang untuk beban tanpa penumpang dan dengan beban 2 penumpang secara teoritis menghasilkan semakin tinggi kecepatan berkendara pada permukaan aspal kering, maka semakin besar gaya traksi yang dihasilkan. Permukaan aspal kering memiliki gaya traksi yang lebih besar dibandingkan pada permukaan aspal basah bila tanpa beban penumpang, sedangkan permukaan aspal kering memiliki gaya traksi yang lebih besar dibandingkan pada permukaan aspal kering dengan beban 2 penumpang.

F. Gaya Rolling Resistance

Gaya tahanan bergulir (rolling resistance) antara ban dan jalan dengan perhitungan sebagai berikut: Contoh perhitungan Gaya tahanan bergulir (rolling resistance) dengan kecepatan rencana 30 km/jam pada ban belakang dengan beban kosong dengan kondisi permukaan aspal kering dimana C_{rr} diperoleh pada tabel 2.3 adalah sebagai berikut:

$$F_{rr} = C_{rr} \times F_z$$

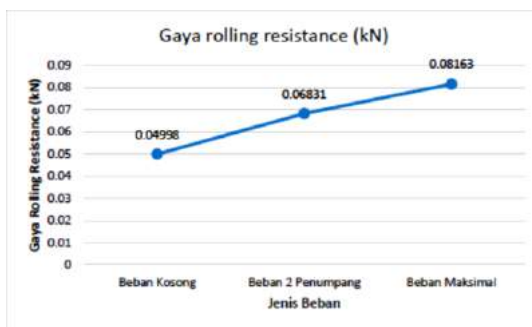
$$F_{rr} = 0,014 \times 300 \text{ kg} \times 9,8$$

$$F_{rr} = 0,04116 \text{ kN}$$

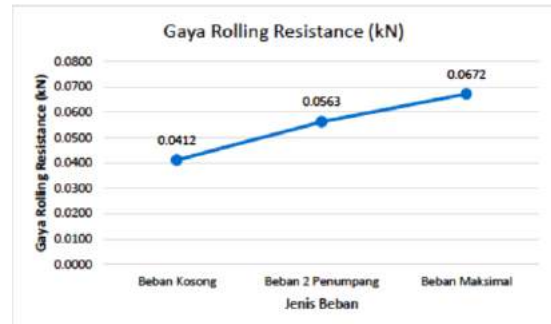
Untuk perhitungan Gaya tahanan bergulir (rolling resistance) dengan bobot beban tanpa penumpang dan dengan beban 2 penumpang, serta kecepatan berkendara rencana 40 km/jam dan 50 km/jam pada ban belakang dengan kondisi permukaan aspal kering dan basah dan didapatkan hasil seperti pada tabel 4.4 dibawah ini:

Tabel 4.4 Gaya tahanan gulir (rolling resistance) pada ban belakang

No	Gaya rolling resistance (kN)					
	Beban Kosong		Beban 2 Penumpang		Beban Maksimal	
	Kering	Basah	Kering	Basah	Kering	Basah
1	0,04116	0,04998	0,05625	0,06831	0,06723	0,08163



Gambar 4.4 Gaya rolling resistance tanpa beban penumpang



Gambar 4.5 Gaya rolling resistance beban 2 penumpang

Berdasarkan hasil perhitungan gaya rolling resistance pada ban belakang untuk beban tanpa penumpang dan dengan beban 2 penumpang secara teoritis menghasilkan semakin tinggi kecepatan berkendara pada permukaan aspal basah, maka semakin besar gaya rolling resistance yang dihasilkan. Permukaan aspal basah memiliki gaya rolling resistance yang lebih besar dibandingkan pada permukaan aspal kering.

Selanjutnya dilakukan pengujian Tread Wear Indicator (TWI) pada ban belakang dengan merek ban Bridgestone, Pirelli dan Continental tipe 245/45 R18. Pengujian TWI dilakukan untuk mengukur keausan ban belakang pada mobil penumpang jenis sedan tipe F30 dengan mesin berkapasitas 1998cc merek dagang BMW dengan standar ketebalan alur yaitu 3 mm yang ditetapkan oleh dealer sebagai standar penggantian ban yang mengalami keausan. Berdasarkan data yang diperoleh selama tahun 2020 terdapat sejumlah mobil jenis sedan tipe F30 dengan mesin berkapasitas 1998cc merek dagang BMW yang mengalami penggantian ban belakang dengan jarak tempuh yang berbeda-beda sebagai berikut.



Gambar 4.6 Data penggantian Ban Periode Januari 2020 – November 2020

Tabel 4.5 Pengujian alur ban

No	Merek	20.000 km	30.000 km	40.000 km	50.000 km	TOTAL
1	Bridgestone	3	2	1	0	6
2	Pirelli	2	2	1	0	5
3	Continental	1	1	0	1	3
TOTAL		6	5	2	1	14

Berdasarkan tabel di atas, jumlah penggantian ban untuk jarak tempuh 20.000 km adalah sebesar 6 unit atau 42,86% dari total jumlah unit yang melakukan penggantian ban pada tahun 2020. Jarak tempuh tersebut menjadi acuan penelitian mengenai ketebalan alur ban pada 3 merek ban yang akan diuji untuk mengetahui *treadwear indicator* pada setiap merek ban. Adapun hasil dari pengujian ketebalan alur pada kedua merek ban tersebut dengan jarak tempuh yang telah dilalui sebesar 20.000 km untuk merek Bridgestone, 30.000 km untuk merek Pirelli, dan 50.000 km untuk merek Continental adalah sebagai berikut.

Tabel 4.6 Pengujian alur ban

No	Merek Ban	Ketebalan (mm)			Ketebalan Awal (mm)	Depresiasi (mm)	Jarak tempuh (km)	Gaya gesek (N)	Laju kendaraan (km/h)	Laju kendaraan (km/h)	Laju kendaraan (km/h)
		Alur 1	Alur 2	Alur 3							
1	Bridgestone	4,87	5,48	5,12	7,17	1,87	20.000	80	274	0,00740	
2	Pirelli	5,7	5,88	4,97	5,93	1,76	20.000	80	274	0,00740	
3	Continental	5,18	4,87	5,34	5,18	1,87	20.000	80	274	0,00740	
4	Bridgestone	4,34	4,34	4,98	4,34	1,84	30.000	80	274	0,00740	
5	Pirelli	4,89	4,89	4,86	4,87	1,89	30.000	80	274	0,00740	
6	Continental	4,27	4,27	4,89	4,28	1,94	30.000	80	274	0,00740	
7	Bridgestone	3,45	3,46	3,8	3,38	1,87	50.000	80	421	0,00740	
8	Pirelli	3,87	3,88	3,76	3,88	1,87	50.000	80	421	0,00740	
9	Continental	3,7	3,87	3,87	3,86	1,84	50.000	80	421	0,00740	

- Rata – rata kedalaman alur Ban Bridgestone dengan alur ban baru yang digunakan 7 mm.

$$\Delta Alur = \frac{Alur1 + Alur2 + Alur3}{\sum Alur}$$

$$\Delta Alur = \frac{4,85 + 5,48 + 5,12}{3}$$

$$\Delta Alur = 5,15 \text{ mm}$$

- Laju keausan ban baru dikurangi rata-rata alur ban yang telah digunakan: $7 \text{ mm} - 5,15 \text{ mm} = 1,85 \text{ mm}$

- Lama berkendara dengan jarak tempuh 20.000 km

$$Lama Berkendara = \frac{Jarak Tempuh}{Kecepatan berkendara} = \frac{20.000 \text{ km}}{80 \text{ km/jam}} = 250 \text{ jam}$$

- Laju keausan ban per jam

$$Laju Keausan Ban = \frac{1,85 \text{ mm}}{250 \text{ jam}} = 0,00740 \text{ mm/jam}$$

- Rata – rata kedalaman alur Ban Pirelli dengan alur ban baru yang digunakan 7 mm.

$$\Delta Alur = \frac{Alur1 + Alur2 + Alur3}{\sum Alur}$$

$$\Delta Alur = \frac{5,3 + 5,66 + 4,93}{3}$$

$$\Delta Alur = 5,30 \text{ mm}$$

- Depresiasi Alur ban baru dikurangi rata-rata alur ban yang telah digunakan: $7 \text{ mm} - 5,30 \text{ mm} = 1,70 \text{ mm}$

- Lama berkendara dengan jarak tempuh 20.000

km

$$\text{Lama Berkendara} = \frac{\text{Jarak Tempuh}}{\text{Kecepatan berkendara}} = \frac{20.000 \text{ km}}{80 \text{ km/jam}} = 250 \text{ jam}$$

- Laju keausan ban per jam

$$\text{Laju Keausan Ban} = \frac{1,70 \text{ mm}}{250 \text{ jam}} = 0,00681 \text{ mm/jam}$$

- Rata – rata kedalaman alur Ban Continental dengan alur ban baru yang digunakan 7 mm.

$$\Delta \text{Alur} = \frac{\text{Alur1} + \text{Alur2} + \text{Alur3}}{\sum \text{Alur}}$$

$$\Delta \text{Alur} = \frac{5,01 + 4,92 + 5,16}{3}$$

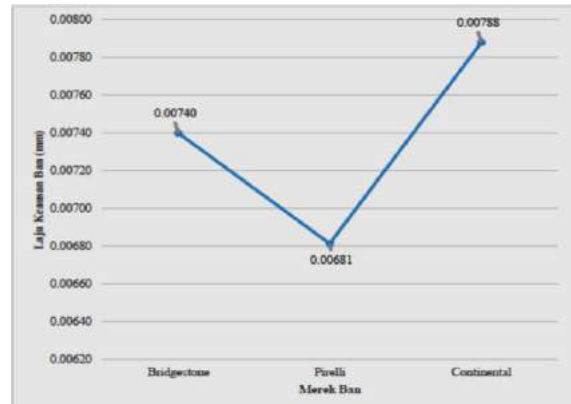
$$\Delta \text{Alur} = 5,03 \text{ mm}$$

- Depresiasi Alur ban baru dikurangi rata-rata alur ban yang telah digunakan: $7 \text{ mm} - 5,03 \text{ mm} = 1,97 \text{ mm}$
- Lama berkendara dengan jarak tempuh 20.000 km

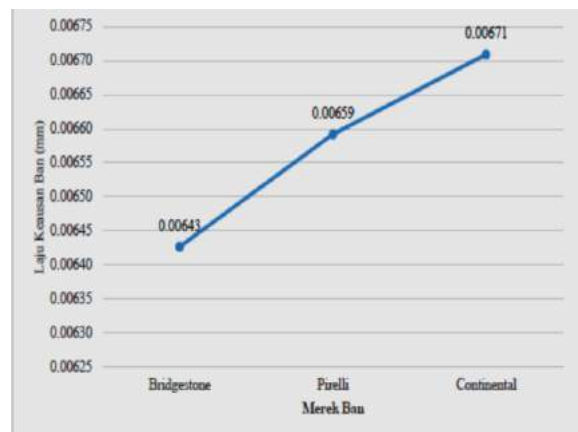
$$\text{Lama Berkendara} = \frac{\text{Jarak Tempuh}}{\text{Kecepatan berkendara}} = \frac{20.000 \text{ km}}{80 \text{ km/jam}} = 250 \text{ jam}$$

- Laju keausan ban per jam

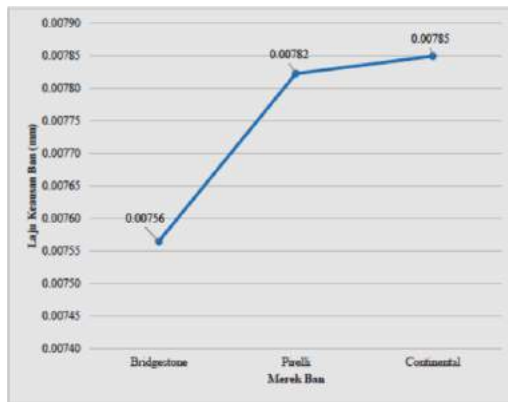
$$\text{Laju Keausan Ban} = \frac{1,97 \text{ mm}}{250 \text{ jam}} = 0,00788 \text{ mm/jam}$$



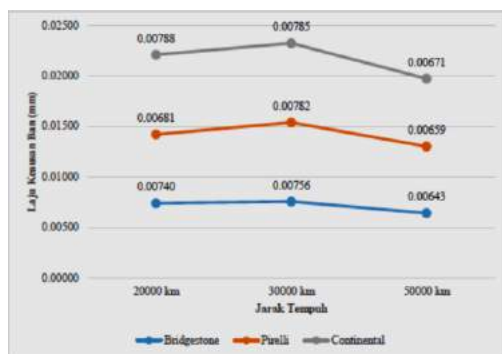
Gambar 4.7 Depresiasi alur ban Bridgestone



Gambar 4.8 Laju Keausan Ban pada 30.000 km



Gambar 4.9 Laju Keausan Ban pada 50.000 km



Gambar 4.10 Perbandingan Laju Keausan Ban

Berdasarkan hasil pengujian terhadap ketiga merek ban, semakin rendah jarak tempuh, maka semakin kecil laju keausan ban per jam. Hal ini dibuktikan dari ketiga ban yang diukur treadwear indicator bahwa semakin lama jarak tempuh, maka laju keausan ban semakin kecil.

4.2. Analisis Pengujian

Dari hasil perhitungan pengujian yang telah dilakukan sebelumnya, selanjutnya dilakukan analisa terhadap data yang telah didapatkan sehingga didapatkan kesimpulan berupa nilai

gaya sentrifugal, gaya traksi, gaya rolling resistance, dan kedalaman alur treadwear indicator yang terjadi pada mobil

Semakin berat beban yang diberikan maka semakin besar Gaya sentrifugal, Traksi, dan rolling resistance yang dihasilkan. Hal tersebut ditunjukkan dengan beban maksimal diperoleh persentase sebesar 40,83% untuk Gaya Sentrifugal, Traksi, dan rolling resistance yang terjadi pada ban belakang. Sementara itu, untuk kedalaman treadwear indicator dapat cepat terkikis oleh semakin cepatnya laju berkendara dengan beban maksimal pada roda belakang. Sementara itu, permukaan jalan yang kering memiliki Gaya traksi lebih tinggi dibandingkan permukaan jalan yang basah pada beban tanpa penumpang maupun dengan beban 2 penumpang

Berdasarkan perhitungan yang telah dihitung tersebut, semakin tinggi kecepatan rata-rata kendaraan maka semakin tinggi Gaya yang terjadi pada ban. Begitupun sebaliknya, dimana semakin rendah kecepatan rata-rata kendaraan maka semakin kecil Gaya yang terjadi pada ban. Adapun sebab dari penggantian ban selain dari faktor ketebalan alur dan treadwear indicator ban yang disebabkan oleh Gaya sentrifugal, traksi, dan rolling resistance terhadap pemeriksaan ban menurut Buntarto (2015) diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Ketidaksiharian ban terhadap velg yang digunakan
2. Pemilik mobil tidak mengetahui indikator keausan pada ban
3. Kurangnya tekanan angin pada ban
4. Kerusakan ban dari sisi visual

5. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dihasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Salah satu faktor yang mempengaruhi keausan ban pada mobil jenis sedan tipe F30 dengan mesin berkapasitas 1998cc adalah

ketebalan alur dan treadwear indicator. Adapun faktor lain yang mempengaruhi keausan ban adalah ketidaksesuaian ban terhadap velg, kurangnya pengetahuan pemilik mobil terhadap treadwear indicator, kurangnya tekanan angin pada ban, dan kerusakan pada sisi luar ban yang mampu dilihat oleh pemilik mobil.

2. Perhitungan teoritis yang dilakukan pada penelitian terhadap keausan ban dilakukan dengan korelasi antara kecepatan rata-rata kendaraan, beban tumpu roda belakang, dan permukaan jalan terhadap Gaya sentrifugal, traksi, dan rolling resistance pada ban. Dengan kecepatan rata-rata berkendara 80 km/jam dengan beban maksimal dihasilkan Gaya sentrifugal pada ban sebesar 529,15 kN. Sementara itu, dengan kecepatan rata-rata berkendara 80 km/jam dengan beban maksimal pada permukaan kering dihasilkan Gaya traksi pada ban sebesar 4,802 kN. Dan selanjutnya, dengan beban maksimal pada permukaan basah dihasilkan Gaya rolling resistance pada ban sebesar 0,08163 kN
3. Pengujian dari hasil yang dilakukan terhadap tiga merek ban berbeda diperoleh bahwa semakin cepat laju berkendara, maka semakin cepat alur ban terkikis.

Hal ini dibuktikan dari ketiga pengujian diperoleh dengan kecepatan rata-rata berkendara 80 km/jam, maka alur ban atau treadwear indicator akan berkurang sebanyak 0,0064 mm sampai dengan 0,0078 mm setiap jam. Hal tersebut membuktikan bahwa pengujian terhadap perhitungan teoritis tersebut dapat menjadi acuan dalam kecepatan rata-rata berkendara.

Saran

1. Perlu adanya analisa lebih lanjut mengenai faktor penyebab keausan pada ban, terutama pada mobil jenis sedan tipe F30 dengan mesin berkapasitas 1998cc dengan merek dagang lainnya.
2. Perlu adanya perhitungan teoritis terhadap komposisi material ban untuk dikorelasikan dengan Gaya gesek (friction) dan kecepatan

rata-rata berkendara agar perhitungan teoritis tersebut lebih akurat.

3. Perlu adanya pengujian sampel ban dari merek lainnya mengenai keausan ban agar dapat menjadi acuan konsumen dalam menetapkan produk ban yang unggul terhadap jalan raya pada kota besar di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

1. Almanaf. (2015). Analisis Cacat dan Kegagalan Produk pada Vulkanisir Ban Sistem Dingin (Skripsi). Universitas Riau.
2. Bijarimi, M., Zulkafli, H., Beg, M., D., H. (2010). Mechanical Properties of Industrial Tyre Rubber Compound. *Journal of Applied Sciences*. Pp 1-4. DOI: <https://doi.org/10.3923/jas.2010.1345.1348/>
3. Buntarto. (2015). *Sistem Ban & Roda*. Yogyakarta: Pustaka baru. ISBN: 602-1674-79-0
4. Fauzan, B., M. (2001). *Memilih dan merawat ban mobil*. Jakarta: Puspita swara. ISBN: 979-9386-43-8
5. Ghandour, R., Victorino, A., Doumiati, M., & Charara, A. (2010). Tire / Road Friction Coefficient Estimation Applied To Road Safety. *18th Mediterranean Conference on Control & Automation*. 1485–1490.
6. Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (2010). *Fisika Dasar Jilid 1 Edisi 7*. Jakarta: Erlangga. ISBN: 978-6022-417-36-1
7. Jazar, R., N. (2008). *Vehicle dynamics: Theory and applications*, Springer, New York. ISBN: 978-3-319-53441-1
8. Muslih, M., M., Kristianta, F., X., & Arbiantara, H. (2015). Pengaruh Tekanan Udara (Inflation Pressure) pada Ban Tipe Radial Ply terhadap Rolling Resistance. *Jurnal ROTOR*. 8(2).
9. National Research Council. (2006). *Tires and Passenger Vehicle Fuel Economy*. Washington:

Transportation Research Board. ISBN: 0-309-09421-6

10. Rusmardi. (2008). Analisis Percobaan Gesekan (Friction) Untuk Pengembangan Teknologi Pengereman Pada Kendaraan Bermotor. *Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*. 3(2), pp. 81–89.

11. Sukirman, Silvia. (1999). *Dasar – Dasar Perencanaan Geometrik Jalan*. Bandung: Nova. ISBN: 979-95847-0-1

12. Sutantra, I., Nyoman (2010). *Teknologi Otomotif: Jilid 2*. Yogyakarta: Guna Widya. ISBN: 979-5450-52-2

13. Warith, M., A., & Rao, S., M. (2006). Predicting the compressibility behaviour of tire shred samples for landfill applications. *Waste Management*. 26(3), pp. 268-276.

14. Wit, C., C., Tsiotras, P., Velenis, E., Basset, M., & Gissinger, G. (2015). Dynamic Tire Friction Models for Vehicle Traction/Braking Control. *Vehicle System Dynamics*. 39 (3), pp.189-226.

15. Wong, J., Y. (2001). *Theory of Ground Vehicles: Third Edition*. Canada: John

Analisis Teknologi Filter Air Sederhana dan Teknik Pemeliharaan yang Layak Pakai

Jenni Ria R.

Magister Manajemen Teknologi Fakultas Teknik Unkris Jakarta, Jakarta 13077
Email:jenniria_rajaguguk@yahoo.com

ABSTRAK

Water Filter adalah suatu teknologi softener yang sederhana untuk kebutuhan skala rumah tangga, dan *water filter* softener merupakan teknologi sederhana untuk meningkatkan air bersih. Untuk merubah air kotor menjadi air bersih dalam pengamatan cukup menggunakan satu tabung filter yang berkomposisi ACP, jenis filter dengan kualitas terbaik teruji dan produk *water filter* JRR-water. Jenis satu tabung media filter dengan kualitas terbaik yang sudah teruji dan terbukti tiga kali lipat lebih tahan dibanding media biasa. Kenyataannya lokasi Jakarta Timur, pemasangan *water filter* type JRR-water mengandung zat besi, zat mangan dan berkapur. Secara kasat mata air tampak kuning berbau besi, menimbulkan flak hitam, dan bercak2 berwarna putih. Hal ini cukup komplis untuk masalah air perumahan. Keadaan tersebut diatas untuk merubah air menjadi lembut dan berkualitas. Dengan demikian, perlunya filter air dengan sistem satu tabung. Permasalahannya bagaimana penerapan teknologi filter air dengan metode sistem satu tabung yang layak pakai dan bagaimana teknik pemeliharaannya. Tujuan penelitian ini untuk melakukan penerapan teknologi filter air yang sederhana dan layak pakai serta metode penelitian yang dilakukan metode teoritis atau referensi 3P. Sehingga Teknologi JRR-water dengan satu tabung, hanya menyediakan kerikil, kain, arang, ijuk, pasir halus, ijuk dan kerikil. Dengan peletakan bahan tujuh lapisan dengan pemeliharaan lebih praktis.

Kata Kunci: *Teknologi filter, Teknik Pemeliharaan, Filter Air dan Layak Pakai*

I. PENDAHULUAN

Penyaring air type JRR- water adalah suatu teknologi softener yang sederhana untuk kebutuhan skala rumah tangga untuk meningkatkan air bersih. Saat ini, sistem penyaring air menggunakan sistem 2 tabung yaitu tabung pertama untuk air bersih + pelembut, dan tabung kedua untuk merubah air kotor menjadi air bersih. Untuk merubah air kotor menjadi air bersih dalam pengamatan ini cukup menggunakan satu tabung jenis *filter* dengan kualitas terbaik dan teruji dan produk *water filter* digunakan JRR-water. Jenis satu tabung media filter dengan kualitas terbaik yang sudah teruji dan terbukti tiga kali lipat lebih tahan dibanding media biasa. Pemasangan *water filter* lain, kenyataan lokasi air di Jakarta timur ini mengandung zat besi, zat mangan dan berkapur. Secara kasat mata air tampak kuning berbau besi, menimbulkan flak hitam, dan bercak2 berwarna putih. Hal ini cukup komplis untuk masalah air

perumahan. Keadaan tersebut diatas untuk merubah air menjadi lembut dan berkualitas.

Menurut [2], air yang berkualitas mempunyai karakteristik yang dicirikan oleh tiga komponen utama yaitu hidrologi, fisika-kimia, dan biologi. Air juga menjadi bagian terbesar pembentuk tumbuh-tumbuhan dan binatang termasuk ikan, dan air juga merupakan media tempat terjadinya berbagai reaksi kimia, baik didalam maupun makhluk hidup. Air menutupi sekitar 70% permukaan bumi dengan jumlah kurang lebih 1368 juta km, dengan demikian kualitas air dalam media budi daya harus dalam kondisi yang stabil dan tidak terjadi perubahan yang mendadak. Apabila kualitas air tidak stabil atau berubah-ubah, maka akan mengakibatkan kultivan stres, sakit bahkan mati jika tidak mampu bertoleransi terhadap perubahan lingkungan.

Dengan demikian, perlunya filter air (*Water Filter*) dengan sistem satu tabung. Permasalahannya adalah bagaimana penerapan teknologi filter air yang sederhana dengan metode sistem satu tabung yang layak pakai dan bagaimana teknik pemeliharaan teknologinya.

Tujuan penelitian ini untuk melakukan penerapan teknologi filter air sederhana yang layak pakai, menjalankan teknik pemeliharaan filter air tersebut. Sehingga metode penelitian yang dilakukan dengan metode teoritis atau referensi kepustakaan.

II. LANDASAN TEORI

Air merupakan zat yang berperan dalam kehidupan makhluk hidup dan air merupakan media tempat terjadinya berbagai reaksi baik di dalam maupun diluar tubuh mahluk hidup. Air menutupi sekitar 70% permukaan bumi dengan jumlah kurang lebih 1368 jutakm. Menurut [3] mengatakan: Kondisi air harus disesuaikan dengan kondisi optimal bagi pertumbuhan biota yang dipelihara, kualitas air tersebut meliputi faktor kimia, fisika, dan biologi. Faktor fisika diantaranya adalah suhu, kecerahan dan kedalaman. Kualitas air dalam media budidaya harus dalam kondisi yang stabil dan tidak terjadi perubahan yang mendadak. Apabila kualitas air tidak stabil atau berubah-ubah maka akan mengakibatkan kultivan stres, sakit bahkan mati jika tidak mampu bertoleransi terhadap lingkungan. Manajemen kualitas air adalah ilmu yang mempelajari tentang pengelolaan terhadap mutu air agar sesuai dengan kebutuhan makhluk hidup, ilmu ini menjadi sangat penting peranannya dalam dunia perikanan, terutama upaya untuk mendukung dan melengkapi ilmu-ilmu yang lain seperti plank teknologi, ekologi perairan, dan lain sebagainya [4].

Menurut [5], dalam tinjauan pustakanya: mengatakan bahwa sistem resirkulasi merupakan sistem yang memanfaatkan kembali air yang sudah digunakan dengan cara memutar air secara terus-menerus melalui perantara sebuah filter atau ke dalam wadah, sehingga sistem ini bersifat hemat air [6], oleh karena itu sistem ini merupakan salah satu alternatif model budidaya yang memanfaatkan air secara berulang dan berguna untuk menjaga kualitas air [7] *Recirculation Aquaculture System* merupakan teknik budidaya yang menggunakan teknik akuakultur dengan kepadatan tinggi di dalam ruang tertutup (*indoor*), serta kondisi lingkungan yang terkontrol sehingga mampu meningkatkan produksi ikan pada lahan dan air yang terbatas [8]. Sistem resirkulasi ada dua jenis yakni sistem sirkulasi tertutup yang mendaur ulang 100% air dan sistem sirkulasi semi tertutup yang mendaur ulang sebagian air sehingga masih membutuhkan penambahan air dari luar [9].

Sistem kerja dari resirkulasi adalah air dari media pemeliharaan dialirkan melalui pipa pengeluaran air. Sistem resirkulasi mampu mempertahankan kondisi kualitas air pada kisaran optimal. Pengolahan limbah pada sistem resirkulasi dapat dilakukan dengan filtrasi fisik (filtrasi biologi [10] dan filtrasi kimia [6]). Teknologi ini memiliki efisiensi yang tinggi pada lahan sempit dan ketersediaan air [11]. Amonia yang dihasilkan dari sisa pakan dan metabolisme ikan dapat mengakibatkan penumpukan bahan organik yang menyebabkan terjadinya penurunan kualitas air [6]. Untuk mempertahankan kualitas air agar tetap layak bagi organisme akuatik salah satu cara dengan sistem resirkulasi. Sistem resirkulasi mampu menurunkan tingkat konsentrasi amonia, hingga dalam kisaran 31- 43% [12]. Penggunaan sistem resirkulasi diharapkan dapat meningkatkan hasil produksi, karena pemanfaatan air lebih ramah lingkungan untuk pertumbuhan ikan [13]. Filter Air Filter adalah alat yang digunakan untuk menyaring air dengan tujuan memperbaiki kualitas air agar bisa digunakan kembali [14], filter berfungsi mekanis untuk menjernihkan air dan berfungsi biologis untuk menetralsasi senyawa amonia yang toksik menjadi senyawa nitrat yang kurang toksik dalam suatu proses yang disebut nitrifikasi [15]. Filter dapat melakukan fungsinya dengan tiga cara yaitu menyerap, berikatan, dan pertukaran ion. Serapan merupakan proses tertangkapnya suatu partikel ke dalam tujuh stuktur media akibat dari pori-pori yang dimilikinya. Suatu partikel menempel pada suatu permukaan yang disebabkan adanya perbedaan muatan lemah di antara dua benda, dinamakan dengan proses adsorpsi. Sedangkan pertukaran ion adalah proses dimana ion-ion yang terjerap pada suatu permukaan filter dengan ion-ion lain yang berada dalam air [16]. Salah satu filter yang dapat digunakan seperti zeolit, arang dan pecahan karang [17]. Menurut [18] filter berfungsi untuk menyaring kotoran, baik secara biologi, kimia maupun fisika. Sistem filtrasi yang biasa digunakan terdiri dari filter mekanik, kimia, biologi dan pecahan karang (*gravel*).

Faktor-faktor yang mempengaruhi agar air menjadi layak di gunakan sebagai berikut (1) Zeolit Zeolit (batuan yang bersifat mikroporus, mineral aluminosilikat yang biasa digunakan sebagai adsorben, [19] (2) Arang Arang merupakan suatu materi padat yang berpori dan arang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Arang yang demikian disebut sebagai arang aktif. Adapun cara kerja arang memisahkan kandungan amonia

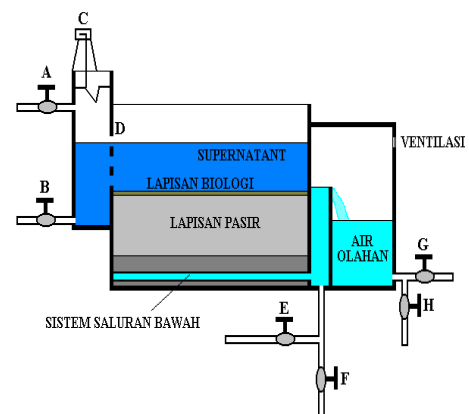
dengan menyerap zat racun yang ada dalam air. Zat racun tersebut akan terperangkap pada pori-pori arang sehingga zat racun akan berkurang, namun kemampuan menyerap arang antara satu sama lain tidak sama [20] (3) Pecahan Karang Batu karang memiliki pori-pori yang banyak dan berbentuk lubang-lubang sehingga cocok sebagai tempat berkoloninya bakteri pengurai. Kelebihan pecahan batu karang yakni bahannya mudah didapatkan dan harganya murah. Batu karang yang digunakan memiliki ukuran rata-rata 2-3 cm [21]. (4) Faktor yang mempengaruhi amonia Amonia berasal dari sisa pakan dan sisa proses metabolisme. Amonia di dalam air terdapat dalam dua bentuk, yakni $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3)$ dan (NH_3) . Keberadaan amonia dalam air mempengaruhi pertumbuhan ikan karena dapat mereduksi masukan oksigen yang disebabkan oleh rusaknya insang. Amonia juga dapat terserap ke dalam bahan-bahan tersuspensi dan koloid sehingga mengendap di dasar perairan [22]. proses nitrifikasi dimanfaatkan oleh organisme dan tumbuhan air dalam proses biosintesis yang akan menghasilkan nitrogen organik [23].

Menurut Nusa Idaman Said, dalam bukunya “Teknologi Pengolahan Air Bersih dengan Saringan Pasir lambat atau *UP Flow*” Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair, Direktorat Teknologi Lingkungan Kedepkatan Teknologi Informasi, Energi dan Material Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Bahwa proses pengolahan air sebagai berikut:

1. Saringan Pasir Lambat Konvensional

Secara umum, proses pengolahan air bersih dengan saringan pasir lambat konvensional terdiri atas unit proses yakni bangunan penyadap, bak penampung, saringan pasir lambat dan bak penampung air bersih. Unit pengolahan air dengan saringan pasir lambat merupakan suatu paket. Air baku yang digunakan yakni air sungai atau air danau yang tingkat kekeruhannya tidak terlalu tinggi. Jika tingkat kekeruhan air bakunya cukup tinggi misalnya pada waktu musim hujan, maka agar supaya beban saringan pasir lambat tidak terlalu besar, maka perlu dilengkapi dengan peralatan pengolahan pendahuluan misalnya bak pengendapan awal dengan atau tanpa koagulasi bahan dengan bahan kimia. Umumnya disain konstruksi dirancang setelah didapat hasil dari survai lapangan baik mengenai kuantitas maupun kualitas. Dalam gambar desain telah ditetapkan

proses pengolahan yang dibutuhkan serta tata letak tiap unit yang beroperasi. Kapasitas pengolahan dapat dirancang dengan berbagai macam ukuran sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan. Biasanya saringan pasir lambat hanya terdiri dari sebuah bak yang terbuat dari beton, fero semen, bata semen atau bak fiber glass untuk menampung air dan media penyaring pasir. Bak ini dilengkapi dengan sistem saluran bawah, inlet, outlet dan peralatan kontrol. Untuk sistem saringan pasir lambat konvensional terdapat dua tipe saringan seperti pada gambar 1. dan Saringan pasir lambat dengan kontrol pada outlet, lihat gambar 2. Kedua sistem saringan pasir lambat tersebut menggunakan sistem penyaringan dari atas ke bawah (*Down Flow*). Kapasitas pengolahan dapat dirancang dengan berbagai macam ukuran sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan. Biasanya saringan pasir lambat hanya terdiri dari sebuah bak yang terbuat dari beton, fero semen, bata semen atau bak fiber glass untuk menampung air dan media penyaring pasir. Bak ini dilengkapi dengan sistem saluran bawah, inlet, outlet dan peralatan kontrol.



Gambar 1. Komponen Dasar Saringan Pasir Lambat Sistem Kontrol Inlet

Keterangan gambar:

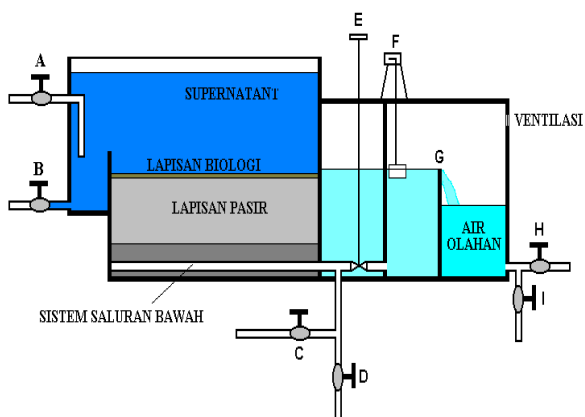
- A. Kran untuk inlet air baku dan pengaturan laju penyaringan
- B. Kran untuk pengelontoran air supernatant
- C. Indikator laju air
- D. Weir inlet
- E. Kran untuk pencucian balik unggun pasir dengan air bersih
- F. Kran untuk pengeluaran/pengurasan air olahan yang

masih kotor

G. Kran distribusi

H. Kran penguras bak air bersih

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada sistem saringan pasir lambat, sebagai berikut: bagian *Inlet* (struktur inlet dibuat sedemikian rupa sehingga air masuk ke dalam saringan tidak merusak atau mengaduk permukaan media pasir bagian atas), struktur inlet ini biasanya berbentuk segi empat dan dapat berfungsi juga untuk mengeringkan air yang berada di atas media penyaring (pasir). Lapisan Air di Atas media Penyaring (*supernatant*) adalah tinggi lapisan air yang berada di atas media penyaring (*supernatant*) dibuat sedemikian rupa agar dapat menghasilkan tekanan (*head*) sehingga dapat mendorong air mengalir melalui unggun pasir. Di samping itu juga berfungsi agar dapat memberikan waktu tinggal air yang akan diolah di dalam unggun pasir sesuai dengan kriteria disain.



Gambar 2. Komponen Dasa Saringan Pasir Lambat Sistem Kontrol Outlet.

Keterangan Gambar:

- A. Kran untuk inlet air baku
- B. Kran untuk pengelontoran air supernatant
- C. Kran untuk pencucian balik unggun pasir dengan air bersih
- D. Kran untuk pengeluaran/pengurasan air olahan yang masih kotor
- E. Kran pengatur laju penyaringan
- F. Indikator laju alir
- G. *Weir inlet* kran distribusi
- H. Kran distribusi
- I. Kran penguras bak air bersih

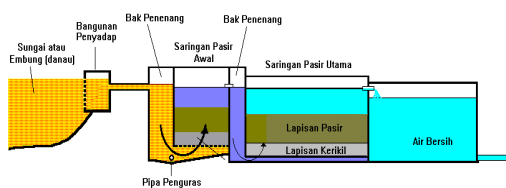
Bagian outlet ini selain untuk pengeluaran air hasil olahan, berfungsi juga sebagai weir untuk kontrol tinggi muka air di atas lapisan pasir. Media Pasir (Unggun Pasir) dapat dibuat dari segala jenis bahan inert (tidak larut dalam air atau tidak bereaksi dengan bahan kimia yang ada dalam air). Media penyaring yang umum dipakai yakni pasir silika karena mudah diperoleh, harganya cukup murah dan tidak mudah pecah. Diameter pasir yang digunakan harus cukup halus yakni dengan ukuran 0,2-0,4 mm. Sistem saluran bawah berfungsi untuk mengalirkan air olahan serta sebagai penyangga media penyaring. Saluran ini terdiri dari saluran utama dan saluran cabang, terbuat dari pipa berlubang yang di atasnya ditutup dengan lapisan kerikil. Lapisan kerikil ini berfungsi untuk menyangga lapisan pasir agar pasir tidak menutup lubang saluran bawah. Ruang pengeluaran terbagi menjadi dua bagian yang dipisahkan dengan sekat atau dinding pembatas. Di atas dinding pembatas ini dapat dilengkapi dengan weir agar limpasan air olahannya sedikit lebih tinggi dari lapisan pasir. Weir ini berfungsi untuk mencegah timbulnya tekanan di bawah atmosfer dalam lapisan pasir serta untuk menjamin saringan pasir beroperasi tanpa fluktuasi level pada reservoir. Dengan adanya air bebas yang jatuh melalui weir, maka konsentrasi oksigen dalam air olahan akan bertambah besar.

Pengolahan air bersih dengan menggunakan sistem saringan pasir lambat konvensional ini mempunyai keunggulan antara lain : Tidak memerlukan bahan kimia, sehingga biaya operasinya sangat murah, dapat menghilangkan zat besi, mangan, dan warna serta kekeruhan, dapat menghilangkan ammonia dan polutan organik, karena proses penyaringan berjalan secara fisika dan biokimia, dan sangat cocok untuk daerah pedesaan dan proses pengolahan sangat sederhana. Sedangkan beberapa kelemahan dari sistem saringan pasir lambat konvensional tersebut yakni antara lain : Jika air bakunya mempunyai kekeruhan yang tinggi, beban filter menjadi besar, sehingga sering terjadi kebutuhan. Akibatnya waktu pencucian filter menjadi pendek, kecepatan penyaringan rendah, sehingga memerlukan ruangan yang cukup luas, pencucian filter dilakukan secara manual, yakni dengan cara mengeruk lapisan pasir bagian atas dan dicuci dengan air bersih, dan setelah bersih dimasukkan lagi ke dalam bak saringan seperti semula dan karena tanpa bahan kimia, tidak dapat digunakan untuk menyaring air gambut. Untuk mengatasi problem sering terjadinya kebuntuan saringan pasir lambat akibat kekeruhan air baku yang tinggi, dapat ditanggulangi dengan cara

modifikasi disain saringan pasir lambat yakni dengan menggunakan proses saringan pasir lambat "UP Flow (penyaringan dengan aliran dari bawah ke atas).

2. Sistem Saringan Pasir Lambat "Up Flow"

Teknologi saringan pasir lambat yang banyak diterapkan di Indonesia biasanya adalah saringan pasir lambat konvensional dengan arah aliran dari atas ke bawah (*down flow*), sehingga jika kekeruhan air baku naik, terutama pada waktu hujan, maka sering terjadi penyumbatan pada saringan pasir, sehingga perlu dilakukan pencucian secara manual dengan cara mengeruk media pasirnya dan dicuci, setelah bersih dipasang lagi seperti semula, sehingga memerlukan tenaga yang cukup banyak. Ditambah lagi dengan faktor iklim di Indonesia yakni ada musim hujan air baku yang ada mempunyai kekeruhan yang sangat tinggi. Hal inilah yang sering menyebabkan saringan pasir lambat yang telah dibangun kurang berfungsi dengan baik, terutama pada musim hujan. Jika tingkat kekeruhan air bakunya cukup tinggi misalnya pada waktu musim hujan, maka agar supaya beban saringan pasir lambat tidak terlalu besar, maka perlu dilengkapi dengan peralatan pengolahan pendahuluan misalnya bak pengendapan awal atau saringan "Up Flow" dengan media berikil atau batu pecah, dan pasir kwarsa / silika. Selanjutnya dari bak saringan awal, air dialirkan ke bak saringan utama dengan arah aliran dari bawah ke atas (*Up Flow*). Air yang keluar dari bak saringan pasir *Up Flow* tersebut merupakan air olahan dan di alirkan ke bak penampung air bersih, selanjutnya didistribusikan ke konsumen dengan cara gravitasi atau dengan memakai pompa. Diagram proses pengolahan serta contoh rancangan konstruksi saringan pasir lambat *Up Flow* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram proses pengolahan air bersih dengan teknologi saringan pasir lambat "Up Flow" ganda.

Dengan sistem penyaringan dari arah bawah ke atas (*Up Flow*), jika saringan telah jenuh atau buntu, dapat dilakukan pencucian balik dengan cara membuka kran penguras. Dengan adanya pengurasan ini, air bersih yang berada di atas lapisan pasir dapat berfungsi sebagai air pencuci media penyaring (*back wash*). Dengan demikian pencucian media penyaring pada saringan pasir lambat *Up Flow* tersebut dilakukan tanpa pengeluran atau pengerukan media penyaringnya, dan dapat dilakukan kapan saja. Saringan pasir lambat "Up Flow" ini mempunyai keunggulan dalam hal pencucian media saringan (pasir) yang mudah, serta hasilnya sama dengan saringan pasir yang konvensional. Kapasitas pengolahan dapat dirancang dengan berbagai macam ukuran sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan.

3. Kriteria Perencanaan Saringan Pasir Lambat "Up Flow"

Untuk merancang saringan pasir lambat "Up Flow", beberapa kriteria perencanaan yang harus dipenuhi antara lain :Kekeruhan air baku lebih kecil 10 NTU. Jika lebih besar dari 10 NTU perlu dilengkapi dengan bak pengendap dengan atau tanpa bahan kimia.

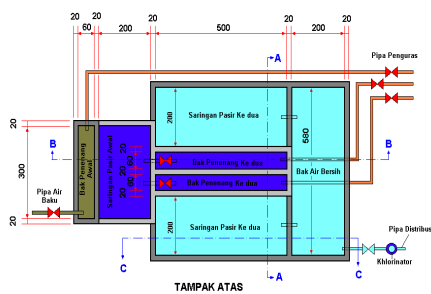
- Kecepatan penyaringan antara 5 - 10 M³/M²/Hari.
- Tinggi Lapisan Pasir 70 - 100 cm.
- Tinggi lapisan kerikil 25 - 30 cm.
- Tinggi muka air di atas media pasir 90 - 120 cm.
- Tinggi ruang bebas antara 25- 40 cm.
- Diameter pasir yang digunakan kira-kira 0,2-0,4 mm
- Jumlah bak penyaring minimal dua buah.

Unit pengolahan air dengan saringan pasir lambat merupakan suatu paket. Air baku yang digunakan yakni air sungai atau air danau yang tingkat kekeruhannya tidak terlalu tinggi. Jika tingkat kekeruhan air bakunya cukup tinggi misalnya pada waktu musim hujan, maka agar supaya beban saringan pasir lambat tidak terlalu besar, maka perlu dilengkapi dengan peralatan pengolahan pendahuluan misalnya bak pengendapan awal atau saringan "Up Flow" dengan media berikil atau batu pecah. Secara umum, proses pengolahan air bersih dengan saringan pasir lambat *Up Flow* sama dengan saringan pasir lambat *Up Flow* terdiri atas unit proses: Bangunan penyadap, bak Penampung/bak Penenang, saringan Awal dengan sistem "Up

Flow", saringan Pasir Lambat Utama "Up Flow", bak Air Bers, perpipaan, kran, sambungan dll. Kapasitas pengolahan dapat dirancang dengan berbagai macam ukuran sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan.

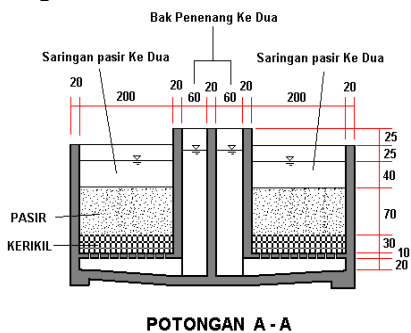
4. Teknologi Pengolahan Air Bersih dengan Saringan Pasir lambat atau UP Flow”

Bahan yang digunakan untuk pembuatan percontohan unit pengolahan air bersih dengan proses saringan pasir lambat *Up Flow* antara lain: Bak penenang manupun bak penyaring dibuat dengan konstruksi beton cor, perpipaan menggunakan pipa PVC (poly vinyl chloride) diameter 4", media filter yang digunakan yakni batu pecah (split) ukuran 2-3 cm untuk lapisan penahan, dan pasir sungai/pasir silika untuk lapisan penyaring.

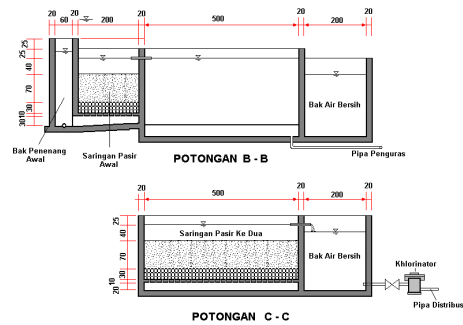


Gambar 4.a : Rancangan Alat Pengolah Air Bersih " Saringan Pasir Lambat Up Flow" Kapasitas 100 M3/hari.

Tampak Atas.



Gambar 4.b. Rancangan alat pengolah air bersih " Saringan Pasir Lambat Up Flow" Kapasitas 100 M3/hari.



Gambar 4.c Rancangan " Saringan Pasir Lambat Up Flow" kapasitas 100 M3/hari.

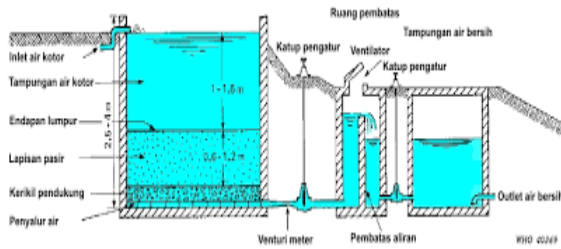
5. Keuntungan Saringan Pasir lambat dengan Arah aliran dari Bawah Ke Atas

Pengolahan air bersih menggunakan sistem saringan pasir lambat dengan arah aliran dari bawah ke atas mempunyai keuntungan antara lain tidak memerlukan bahan kimia, sehingga biaya operasinya sangat murah, dapat menghilangkan zat besi, mangan, dan warna serta kekeruhan, dapat menghilangkan ammonia dan polutan organik, karena proses penyaringan berjalan secara fisika dan biokimia sangat cocok untuk daerah pedesaan dan proses pengolahan sangat sederhana, perawatan mudah karena pencucian media penyaring (pasir) dilakukan dengan cara membuka kran penguras, sehingga air hasil saringan yang berada di atas lapisan pasir berfungsi sebagai air pencuci. Dengan demikian pencucian pasir dapat dilakukan tanpa pengerukan media pasirnya.

6. Rumus Perhitungan Desain Saringan Pasir Lambat yang Standar WHO

Berdasarkan hasil pengkajian yang ditulis dalam jurnal mereka, yang dilakukan oleh [24]. Menunjukkan bahwa Saringan pasir lambat adalah bak saringan yang menggunakan pasir sebagai media filter dengan ukuran butiran sangat kecil, Namun mempunyai kandungan kuarsa yang tinggi. Proses penyaringan berlangsung secara gravitasi, sangat lambat, dan simultan pada seluruh permukaan media. Pasir media yang baru pertama kali dipasang dalam bak saringan memerlukan masa operasi penyaringan awal secara normal dan terus menerus. Tujuan operasi awal adalah untuk mematangkan media pasir penyaring dan membentuk lapisan kulit saringan (*schmutzdecke*), yang kelak akan berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses biokimia dan proses biologis. Selama proses pematangan, kualitas filtrat atau air hasil olahan dari saringan

pasir lambat, biasanya belum memenuhi persyaratan air minum.



Gambar 4. Desain Saringan Pasir Lambat Standar WHO

Ketinggian air kotor di bak penyaring biasanya berkisar 1 – 1.5 meter, dan ketebalan lapisan pasir berkisar 0.6 – 1.2 meter. Ketinggian air ini bervariasi dan disesuaikan dengan kondisi sumber air, ukuran butir pasir, keseragaman ukuran butir dan tekanan yang dibutuhkan untuk menghasilkan kecepatan aliran air melewati saringan pasir lambat. Jika dibutuhkan penyaringan yang lebih baik, maka tebal pasir makin tebal dan karena makin tebal maka aliran air akan semakin lambat dan membutuhkan tekanan yang makin tinggi sehingga ketinggian air diatas saringan juga harus semakin tinggi. Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori. Pori-pori tanah saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya sehingga air dapat mengalir dari titik tinggi energi ke titik dengan energi lebih rendah. (Hardyatmo, 2003). Besarnya angka permeabilitas ditentukan oleh porositas efektif. Permeabilitas tanah tergantung pada tekstur dan struktur tanah, dimana kedua hal ini tergantung pada banyaknya pori-pori tanah, ukuran sisir tanah dan liku aliran dan kelembaban dari aliran air di dalamnya. Permeabilitas tanah akan mengontrol seberapa cepat air dapat berinfiltrasi ke dalam tanah yang akan menyebabkan terjadinya limpasan dan erosi. Untuk mengukur kecepatan aliran air yang melalui suatu rongga pori dipakai persamaan Darcy, yang meninjau hubungan antara kecepatan dengan gradien hidraulik. Diberikan dengan persamaan sebagai berikut (Hadyatmo, 2006) adalah

$$v = i \cdot k$$

$$Q = i \cdot k \cdot A$$

Di mana:

- v = kecepatan aliran (cm/dtk)
- i = gradien hidraulik
- k = koefisien permeabilitas (cm/dtk)

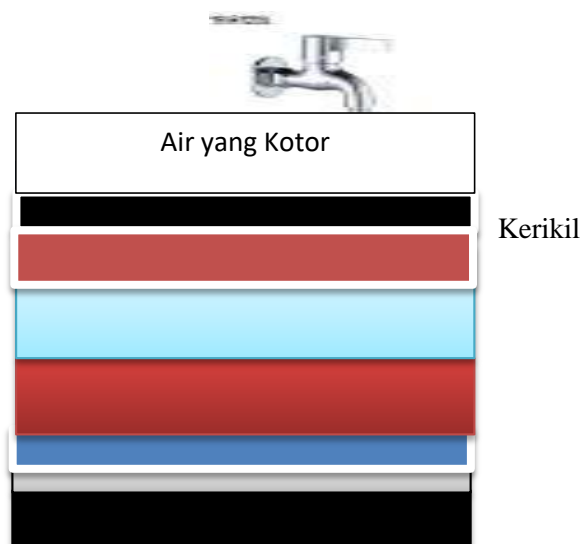
$$Q = \text{debit rembesan (m}^3 / \text{dtk)}$$

$$A = \text{luas penampang yang dialiri (m}^2 \text{)}$$

III. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode teoritis (studi kepustakaan), dimana prosedur penelitian dilakukan setelah studi pendahuluan yaitu tiga P (*Person, Place and Paper*). Melaksanakan persiapan data, mengumpulkan hasil-hasil teori, hasil pengujian-pengujian atau penelitian yang sudah dilakukan, dilanjutkan dengan pembahasan yang disimpulkan sistem teknik pemeliharaan filter air yang layak di pakai yaitu jenis JRR-WATER dengan satu tabung media filter sebagai berikut:

1. Melakukan/menyediakan drum plastic atau drum aspal sesuai dengan situasi ruangan
2. Menyediakan kerikil, kain, arang, Ijuk, pasir halus, ijuk dan kerikil.
3. Peletakan bahan-bahan tersebut menjadi tujuh lapisan, seperti terlihat pada gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. JRR-Water Filter

- :Krikil
- : Ijuk
- : Pasir Halus
- : Kain

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Butiran Pasir.

Teknologi JRR-Water Filter jenis satu tabung dengan kualitas terbaik yang sudah teruji dan terbukti tiga kali lipat lebih tahan dibanding media lainnya. Pemasangan water filter (*filter air*) type JRR-WATER sudah banyak dilakukan, kenyataan lokasi air di Jakarta timur ini mengandung zat besi, zat mangan dan berkapur. Secara kasat mata air tampak kuning berbau besi, menimbulkan flak hitam, dan bercak2 berwarna putih.

Namun dapat juga dilakukan sebagai proses awal dilakukan pengayakan pasir untuk mendapatkan nilai ES dan Cu yang sesuai SNI 03-3981-2008. Data yang diambil (sudiyo utomo, dkk; 2012), melakukan analisa butiran pasir dengan menggunakan ayakan No. 3/8, 4, 10, 20, 40, 50, 60, 70, 120, 200, menghitung nilai ES (P10) dan Cu, di mana nilai ES yang diperoleh harus berada di antara 0,2 – 0,4 mm dan nilai Cu berada pada 2 – 3, melakukan pengujian permeabilitas untuk mendapatkan nilai koefisien permeabilitas (k), melakukan pengujian berat jenis pasir, melakukan pengujian untuk mendapatkan kecepatan Menghitung luasan bak saringan pasir lambat, menentukan dimensi bak. Sehingga hasil analisis butiran pasir diatas, $ES = P10 = 0,3$ (syarat SNI 03-3981-2008 adalah 0,2 – 0,4 mm), $Cu = 3$ (Syarat SNI 03-3981-2008 adalah 2- 3). Hasil pengujian permeabilitas terhadap pasir yang akan digunakan sebagai media filter pada saringan pasir lambat adalah diameter tabung : 6,35 cm dan berat sampel = 464 gr dan $k = 0,4$ mm /detik. Berdasarkan data debit mata air Kolhu sebesar $0,015$ m³ /dtk pada musim hujan maka dapat dihitung luasan bak saringan pasir lambat. Luasan bak saringan pasir lambat ditentukan oleh besarnya debit rencana dan kecepatan aliran (SNI 03-3981-2008).

4.2 Pelaksanaan Unit Saringan Pasir Lambat Up Flow

Unit pengolahan air dengan saringan pasir lambat "Up Flow" adalah unit ala pengolah air yang telah dibangun di Pesantren La Tansa, Lebak, Jawa barat, dengan kapasitas 100 M³/hari yang sedang beroperasi. Kapasitas 100 M³/hari. Dengan lokasi Pesantren La tansa, Lebak, Jawa Barat. Salah satu contoh unit pengolahan air dengan saringan pasir lambat "Up

Flow" adalah unit ala pengolah air yang dibangun di Pesantren La Tansa, Lebak, Jawa barat, dengan kapasitas 100 M³/hari dengan spesifikasi Alat adalah sebagai berikut : Kapasitas Pengolahan : 100 m³/ hari. Bangunan Penyadap : Pipa PCV diameter 4" (berlubang), Bak Penerima / Bak Penenang Awal : 80 cm x 300 cm x 250 cm, Saringan Up Flow Awal : Ukuran 200 cm x 300 cm x 225 cm. Tebal Lapisan Kerikil : Batu Pecah, ukuran 2-3 cm = 20 cm, Batu Pecah, ukuran 1-2 cm = 10 cm. Pasir = 70 cm, kecepatan Penyaringan = 16 m³/m² hari, Bak Penenang kedua : 80 cm x 500 cm x 225 cm (2 buah). Saringan pasir up flow kedua : 200 cm x 500 cm x 200 cm (2 buah), kecepatan Penyaringan : 5 m³/m² hari, bak Air Bersih : 200 cm x 580 cm x 200 cm (± 20 m³), Tebal Lapisan Kerikil : Batu Pecah, ukuran 2-3 cm = 20 cm, Batu Pecah, ukuran 1-2 cm = 10 cm, Pasir = 20 cm dan Bahan Bangunan : beton semen cor.

4.3 Sistem Air Tower

Water Treatment Air sungai dan Sumur Bor menjadi Air Bersih Proses pengolahan air (water treatment system) yang merupakan pengolahan air yang tidak layak pakai (air kotor) menjadi air bersih yang layak higienis dan terbebas dari unsur-unsur berlebih dari segi fisika maupun kimia. Water treatment terdiri dari beberapa perangkat peralatan yang tergabung dalam satu unit operasionalnya dan saling berhubungan satu sama lain untuk mengolah air kotor menjadi air bersih. Air bersih tersebut ditujukan untuk operasional pabrik dan kebutuhan karyawan diperumahan. Air yang digunakan untuk proses water treatment adalah air yang berasal dari sungai dan sumur bor. Bahan Kimia yang digunakan Tawas (Al₂O₃) Tawas merupakan bahan koagulan yang paling banyak digunakan karena bahan ini paling ekonomis, mudah diperoleh dipasaran serta mudah penyimpanannya.jumlah pemakaian tawas 100 kg/shift. Pemakaian tawas ini tergantung kekeruhan (*turbidity*) air baku. Tawas dapat digunakan sebagai penjernih air sebab tawas yang dilarutkan mampu mengikat kotoran-kotoran dan mengendapkan kotoran dalam air sehingga menjadikan air menjadi bersih. Tawas Kapur CaOH₂ Kapur merupakan bahan kimia yang digunakan pada proses pengolahan air kotor menjadi air bersih (*water treatment*). Jumlah kapur yang digunakan 50 kg/shift. Penggunaan kapur ini relatif tergantung ph, apabila ph turun maka akan ditambahkan kapur untuk menaikkan ph. Stasiun *water tretment* dan laboratorium

saling berkoordinasi untuk menjaga pH agar tetap normal berkisar antara 6,5-8,5 dan kapur 15.

4.4. Faktor-faktor yang mempengaruhi Proses Pengolahan air sebagai berikut:

1. Garam (NaCl)

Garam yang digunakan dalam proses pengolahan air sebagai bahan pelarut yang melarutkan kandungan mineral dalam air. Jumlah garam yang dipakai pada proses ini 50 kg/shift. Penggunaan garam ini relatif tergantung hardness. Garam Kuriflock Kuriflock ini berfungsi mengikat partikel-partikel kecil dan koloid yang tumbuh dan mengendapkan kotoran dalam air. Jumlah kuriflock yang dipakai pada proses ini 3 kg/shift. Kuriflock 16. SOP Water Treatment [1] Bersih 1. Mengisi settling pond dengan air water intake sampai batas *overflow* dengan menjalankan 2 unit pompa sesuai kebutuhannya. 2. Air dari settling pond di pompa ke flocculation tank sampai batas. 3. Flocculation tank air, dicampur bahan kimia berupa tawas dan kuriflock yang dimasukan melalui pipa chemical pump. 4. Air dari flocculation tank, dialirkan ke bak clean water. 5. Air dari bak clean water, dipompa lagi ke filter press. 6. Air yang keluar dari filter press sebagian dipompa ketangki M5 konsumsi perumahan dan sebagian untuk air dalam pabrik Air Pengisi Ketel 1. Air dari tangki M5 dimasukan ke tangki anthracite (tangki carbon aktif), untuk menghilangkan garam-garam mineral, kemudian dialirkan ke bak softener. 2. Air dari bak softener dipompa lagi ke tangki softener untuk menurunkan hardness < 1 3. Air dari tangki softener dipompa lagi ke tangki 1000 M³ untuk stok air ketel Ciri-ciri air kotor (*raw water*) yang ada di PT. PG. Gorontalo unit PG. Tolangohula : 1. Berwarna kotor. 2. Suhunya panas. Mengandung unsur-unsur Fe, Zn, Hg dan Mn. Biasanya air ini mengandung campuran zat-zat kimia anorganik yang berasal dari air bersih serta bermacam-macam zat organik berasal dari penguraian tinja, urine dan sampah-sampah lainnya. Tahapan Pengolahan Air Sungai dan Sumur Bor Proses Pengolahan untuk Konsumsi Perumahan settling pond Settling pond (kolam air) adalah tempat untuk menampung air sungai dan sumur bor. Air sungai dan sumur bor ini dipompa masuk ke settling pond untuk kebutuhan proses pengolahan air. Kapasitas settling pond ini m³. Gambar 5. Settling Pond (kolam air) Proses Flocculation Air yang dari settling pond dipompa masuk ke flocculation tank. Flocculation tank adalah tempat

perlakuan air dengan menambahkan bahan kimia yaitu : tawas 100 kg/shift, garam 50 kg/shift, kapur 50 kg/shift dan kuriflock 3 kg/shift. Untuk perlakuan bahan kimia ini 1 shift = 8 jam selama proses pengolahan. Cara kerja flocculation tank ini dengan sistem pengadukan lambat. Kapasitas flocculation tank 250 m³.

2. Flocculation Tank Bak Clean Water

Air yang dari flocculation tank kemudian dialirkan ke bak clean water untuk proses selanjutnya, kapasitas bak clean water ini 100 m³. Bak Clean Water Proses Sand Filter Air dari bak clean water dipompa masuk ke sand filter, proses ini bertujuan untuk mengurangi polutan-polutan yang ukurannya lebih besar dari 20 mikron. Menahan/memfilter partikel-partikel padat, kapasitas sand filter 210 m³. Sand Filter Tangki M5 Air yang dari sand filter sebagian dipompa ketangki M5 untuk konsumsi perumahan dan sebagian untuk air dalam pabrik. Kapasitas tangki M5 120 m³. Tangki M5 Air yang digunakan untuk konsumsi perumahan di PT. PG. Gorontalo Unit PG. Tolangohula ini sudah memenuhi syarat dan sudah sesuai dengan ciri-ciri air bersih yaitu : 1. Jernih, tidak berbau, tidak berasa dan tidak berwarna. 2. Suhunya sejuk dan tidak panas. 3. Bebas unsur-unsur kimia yang berbahaya seperti besi (Fe), seng (Zn), raksa (Hg) dan mangan (Mn). 4. Tidak mengandung unsur mikrobiologi yang membahayakan seperti coli tinja dan total coliforms Proses Pengolahan untuk Konsumsi Pabrik Proses Anthracite Air yang dari tangki M. 5. dialirkan ke tangki anthracite. Proses ini bertujuan menghilangkan aroma air yang tidak sedap, membunuh bakteri, mengikat racun-racun dalam air serta meningkatkan kualitas air. Proses ini bertujuan untuk mengurangi kadar kesadahan (*total hardness*) dalam air kapasitas tangki anthracite 20 m.

4.5. Operasi dan Pemeliharaan

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam hal pengoperasian saringan pasir lambat dengan arah aliran dari atas ke bawah antara lain adalah (1) Kecepatan penyaringan harus diatur sesuai dengan kriteria perencanaan, (2) Jika kekeruhan air baku cukup tinggi sebaiknya kecepatan diatur sesuai dengan kecepatan disain minimum (5 M³/M²Hari), (3) Pencucian media penyaring (pasir) pada saringan awal (pertama) sebaiknya dilakukan minimal setelah 1 minggu operasi.

sedangkan pencucian pasir pada saringan ke dua dilakukan minimal setelah 3 - 4 minggu operasi dan (4) Pencucian media pasir dilakukan dengan cara membuka kran penguras pada tiap-tiap bak saringan, kemudian lumpur yang ada pada dasar bak dapat dibersihkan dengan cara mengalirkan air baku sambil dibersihkan dengan sapu sehingga lumpur yang mengendap dapat dikeluarkan. Jika lumpur yang ada di dalam lapisan pasir belum bersih secara sempurna, maka pencucian dapat dilakukan dengan mengalirkan air baku ke bak saringan pasir tersebut dari bawah ke atas dengan kecepatan yang cukup besar sampai lapisan pasir terangkat (terfluidisasi), sehingga kotoran yang ada di dalam lapisan pasir terangkat ke atas. Selanjutnya air yang bercampur lumpur yang ada di atas lapisan pasir dipompa keluar sampai air yang keluar dari lapisan pasir cukup bersih.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil teori, pelaksanaan dan pembahasan disimpulkan sebagai berikut:

1. Penerapan teknologi filter air yang dilakukan dengan Filter water dengan satu tabung dengan type JRR-water karena aspek yang paling menarik dari sistem saringan pengoperasiannya sederhana, mudah dan murah.
2. Konstruksi saringan dirancang sesuai dengan kriteria perencanaan, maka alat ini dapat menghasilkan hasil yang baik dan murah. Mikroorganisme yang hidup dan menempel pada permukaan media menyaring dapat menguraikan senyawa organik, amonium serta senyawa mikro polutan lainnya. Selain itu dengan proses saringan pasir lambat juga dapat menurunkan zat besi dan mangan yang ada dalam air baku
3. Sistem saringan pasir lambat ini sangat sesuai diterapkan di daerah pedesaan di negara-negara berkembang, khususnya di Indonesia, karena sistem ini cukup sederhana baik dari segi konstruksi operasionalnya, serta biaya operasinya sangat murah. Di samping itu, sistem saringan pasir lambat ini dapat dirancang mulai dari kapasitas yang kecil sampai kapasitas yang besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Annonymous, "*Design Criteria For Waterworks Facilities*", Japan Water Works Association, 1978.
- [2] Angel dan Wolseley, 1992, *The Family of Naturalist*, London
- [3] Mulyanto, 1992, *Lingkungan Hidup Untuk Ikan*, Dep.DikBud, Jakarta.
- [4] Hutabarat dan Evans; 2000, *Pengantar Oseanografi*, UI, Depok
- [5] Ferdinand, Augusty. 2014. *Metode Penelitian Manajemen*. BP Universitas Diponegoro. Semarang.
- [6] Prayogo et al., 2012 *Hubungan antara Pengukuran dan Kepuasan Kerja*, Jakarta.
- [7] Fauzzia et al., 2013, Fauzia. Risk Factors of Low Back Pain in Workers". Faculty of Medicine, UNILA
- [8] Lukman, 2005, *Manajemen*, Bogor, Ghalia Indonesia
- [9] Sidik, 2002. *Perimbangan Keuangan Pusat dan Daerah Sebagai Pelaksanaan Desentralisasi Fiskal*. Makalah Seminar Setahun Implementasi Kebijaksanaan Otonomi Daerah di Indonesia, Yogyakarta, 13 Maret 2002.
- [10] Effendi; 2003, *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius (Anggota IKAPI), Jakarta.
- [11] Nurcahyono et al, 2007, *Teknologi Memiliki Efisiensi yang Tinggi pada Lahan Sempit dan Ketersediaan Air*, Jogyakarta.
- [12] Djokosetiyanto, D., A. Sunarma., dan Widanarni. 2006. *Perubahan Ammonia (NH₃-N), Nitrit (NO₂-N) dan Nitrat (NO₃-N) pada Media Pemeliharaan Ikan Nila Merah (Oreochromis sp.) di dalam Sistem Resirkulasi*. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, V(1): 13-20.
- [13] Zonnefeld et al., 1991, *Memelihara dan Mempertahankan suhu serta Kualitas Air*, IPB
- [14] Darmayanti et al.; 2011, *Pengaruh Penggunaan Air Rebusan Daun Sirih dan perubahan pH*, Jakarta.
- [15] Widayat et al.; 2010, *Kajian Pemberian Zeolit, Dolomit dan Batu Apung*

terhadap Sifat Kimia, Semarang.

- [16] Silaban et al.; 2012, *Pertumbuhan Ikan dipengaruhi oleh Faktor Internal dan Eksternal*, Jakarta.
- [17].Diyah et al.; 2013. Pengaruh variasi waktu tahan hidrotermal terhadap sifat kapasitif superkapasitor material graphene. *Jurnal Teknik Pomits*, 2 (1).
- [18] Kuncoro, 2004, *Otonomi dan Pembangunan Daerah: Reformasi, Perencanaan, Strategi, dan Peluang*. Printed Media. Erlangga. Jakarta
- [19] Silaban et al.; 2012, *Pertumbuhan Ikan dipengaruhi oleh Faktor Internal dan Eksternal*, Jakarta.
- [20] Ristiana et al.; 2009, *Sebuah Filter Air adalah Arang*, Sidik, 2002, Konsep, Hambatan dan Prospek di Era Otonomi Daerah, Buku Kompas, Jakarta
- [21] Kuncoro, 2004, *Otonomi dan Pembangunan Daerah: Reformasi, Perencanaan, Strategi, dan Peluang*. Printed Media. Erlangga. Jakarta
- [22] Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan*. Kanisius: Yogyakarta.
- [23]. Fauzzia, M., Izza, R., dan Nyoman w. 2013. *Penyisihan Amoniak dan Kekeruhan Pada Sistem Resirkulasi Budidaya Kepiting Dengan Teknologi Membran Biofilter*. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, II(2): 155-161.
- [24] Sudiyo Utomo, Tri. M.W. Sir dan Albert Sonbay, *Desain Saringan Pasir Lambat pada Instalasi Pengolahan Air Bersih (IPAB) Kolhua Kota Kupang*, 2012, *Jurnal Teknik Sipil Vol 1. No. 4* September 2012, UNC.

