

**LAPORAN PROGRAM PENELITIAN
BERORIENTASI PRODUK**



**UPAYA PENINGKATAN AKURASI DESAIN PENUKAR KALOR
KONTAK LANGSUNG TIPE DIFFUSER PENDINGIN AIR
LIMBAH PANAS:**

**PERBAIKAN FORMULA PERPINDAHAN PANAS ANTARA
UDARA DENGAN AIR**

**USUL PENELITIAN
Oleh
Ir. Achmad Fauzan HS MT**

**LEMBAGA PENELITIAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG
JANUARI 2007**

HALAMAN IDENTITAS USULAN PENELITIAN PROGRAM UNGGULAN

1. Judul Usulan :
Perbaikan Formula Perpindahan Panas Antara Udara Dengan Air : Upaya
Peningkatan Akurasi Desain Penukar Kalor Kontak Langsung Tipe
Diffuser Pendingin Air Panas Limbah Kondensor

2. Ketua Peneliti

- a. Nama Lengkap : Ir. Achmad Fauzan HS,MT.
- b. Bidang Keahlian : Teknik Mesin Konversi Energi
- c. Jabatan Struktural :
- d. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
- e. Unit Kerja :
- f. Alamat surat : Jalan Raya Tlogomas 246 Malang
- g. Telpon/Faks : 0341 465147
- h. E-mail : fauzanmt@umm.ac.id

3. Anggota peneliti

No	Nama Gelar Akademik	Bidang Keahlian		Instansi	Alokasi Waktu (jam/minggu)
----	---------------------	-----------------	--	----------	----------------------------

4. Objek penelitian : Suatu formula yang diperlukan dalam disain penukar kalor kontak langsung tipe difuser udara pendingin air dalam kanal.

5. Masa pelaksanaan penelitian:

• Mulai : Januari 2007

• Berakhir : 27 Mei 2007

6. Anggaran yang diusulkan:

• Tahun pertama : Rp 6 000 000

• Anggaran keseluruhan : Rp 6.000.000

7. Lokasi penelitian Universitas Muhammdiyah Malang,

8. Hasil yang ditargetkan (temuan baru/paket teknologi/hasil lain): Desain instalasi yang dapat dipergunaka sebagai sarana penelitian dan praktikum Teknik mesin.

9. Institusi lain yang terlibat

10. Keterangan lain yang dianggap perlu:

Luaran jangka pendek adalah koreksi persamaan perpindahan panas dan hubungan antar variabel agar perhitungan disain Penukar kalor kontak langsung tipe diffuser dapat dilaksanakan dengan baik sedang

Luaran jangka panjang adalah disain Penukar kalor kontak langsung tipe diffuser dapat dilaksanakan dengan baik.

KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS ANTARA ALIRAN GELEMBUNG UDARA DENGAN AIR

Achmad Fauzan HS,

ABSTRAK

Pelaksanaan disain Penukar kalor kontak langsung tipe diffuser untuk pendingin air limbah panas, diperlukan beberapa tahapan termasuk perumusan perpindahan panas antara aliran udara dengan air yang dilewatinya. Penelitian yang menghasilkan berbagai persamaan perpindahan panas antara aliran udara dengan air dalam berbagai keadaan telah dilakukan. Perbaikan persamaan diperlukan mengingat selama pengujian ditemukan parameter yang tidak bisa diamati dengan baik karena sifat fisiknya, yang mempengaruhi perhitungan laju perpindahan panas, begitu juga dengan koefisien perpindahan panasnya. Sensing suhu gelembung terpengaruh pengaruh suhu air sehingga mempengaruhi perhitungan kalor.

Penelitian ini didedikasikan untuk memperoleh. memperoleh koreksi persamaan perpindahan panas dan hubungan antar variabel agar perhitungan disain Penukar kalor kontak langsung dengan diffuser udara dapat dilaksanakan dengan baik, sekaligus berbagai karakteristik atau unjuk kerja perpindahan panas terkait dengan perhitungan dalam perancangan

Instalasi percobaan yang dipergunakan pada dasarnya adalah suatu kotak kaca berisi air dengan tinggi 1m yang terkendali aliran dan suhunya. Diffuser yang dipergunakan berupa pipa stainless steel diameter 1 cm, padanya terdapat lubang diffuser (nosel) tempat keluarnya udara dengan diameter tertentu. Udara dengan tekanan dijaga stabil 3 atm dilepaskan melalui lubang diffuser. Akuisisi data temperatur menggunakan komputer sperangkat instrumen dengan komponen utama LM35, dan termokopel sebagai sensor. Pengolahan data dimulai dengan perhitungan kalor yang diserap udara sehingga suhunya naik $Q_{\Delta u} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T_u$. , koefisien perpindahan panas h. Angka

Nusselt. Sedangkan angka Reynold didasarkan pada diameter lubang diffuser. Simulasi perpindahan panas juga dilakkan menggunakan CFD untuk memperoleh informasi lebih dalam sekaligus sebagai persiapan penggunaan software dalam disain lanjutan Penukar kalor kontak langsung tipe diffuser untuk pendingin air limbah panas

HASIL :

BAB I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

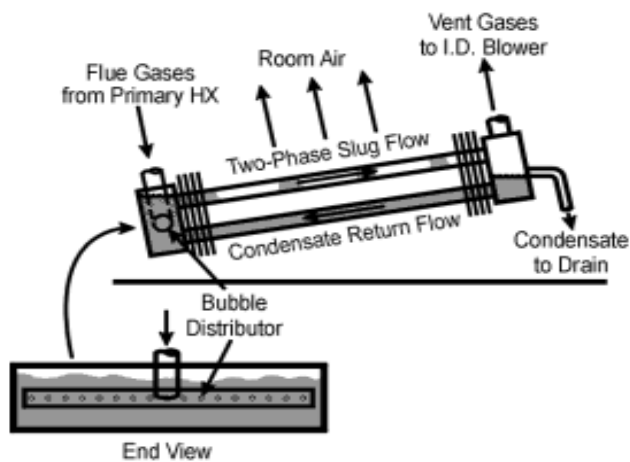
Semakin mahalnya harga BBM memacu PT Perusahaan Listrik Negara (PLN) kini menggenjot pembangunan pembangkit non-BBM. Total investasi yang dibutuhkan untuk pembangkit non-BBM sampai dengan 2015 di Jawa-Bali USD 9,232 triliun. Sedangkan di luar kawasan itu mencapai USD 2,493 triliun. Pemerintah kini tengah mempersiapkan kebijakan perubahan sumber energi industri. Ditargetkan untuk lima tahun ke depan, seluruh industri di tanah air menggunakan sumber energi gas dan batu bara sebagai pengganti BBM (bahan bakar minyak). (JawaPos 10 Februari 2005)

Pada umumnya di Indonesia atau khususnya di PLTU Grati Pasuruan, sebagai salah satu tempat yang dikaji dalam penelitian ini menggunakan sistem air sirkulasi sekali laluan mengatakan bahwa pada sistem sekali lalu air yang diambil dari air alam seperti danau, sungai, atau laut dipompakan melalui kondensor sehingga menjadi panas lalu dibuang kembali ke sumbernya. M.M.El-Wakil (1992:245)

Dari segi termodinamika, pendinginan sekali lalu merupakan cara yang paling efisien untuk pembuangan kalor. Cara ini menggunakan *heat sink* yang suhunya paling rendah yang terdapat di instalasi daya yang bersangkutan. Akan tetapi, ada peraturan lingkungan yang membatasi penggunaan air permukaan atau membatasi suhu pemanasan air lingkungan (UU lingkungan hidup no 23/1997).

Salah satu cara untuk mendinginkan air panas limbah pendingin kondensor adalah cooling tower. *Cooling tower* jelas lebih menguntungkan yaitu mengurangi kebutuhan air sampai 75 kali, namun ini memerlukan investasi besar, tanah, dan biaya operasional, disamping masalah pencemaran air, pencemaran bunyi, dan juga sering dipermasalahkan dalam pencemaran pandangan.. M.M.El-Wakil:

Dari permasalahan tersebut diatas, maka dipandang pentingnya mencari alternatif sistem pendingin terutama untuk dapat memenuhi peraturan lingkungan tentang buangan termal. Salah satu alternatif itu adalah aerator seperti yang terlihat pada gambar.



Gambar 2 Sistem kerja Aerator

Sistem ini terdiri dari 3 bagian dasar yaitu (1.) Kompresor udara dengan motornya, (2) Pipa Udara dan (3.) Diffuser tempat gelembung keluar ke dalam air. (Aerator, Ponds Aerator, 2000)

Kerugian sistem ini adalah terjadinya pelepasan panas ke udara dapat menyebabkan peningkatan suhu udara disekitar pembangkit, sekalipun begitu hal ini akan tereliminir karena angin disekitar laut cukup kencang. Keuntungan sistem *diffuser* ini bagi lingkungan antara lain adalah terjadinya pengayaan oksigen pada air laut terpakai, efek selanjutnya dari hal ini adalah tersedianya oksigen yang lebih bagi biota laut disekitar muara pembuangan.

Dalam perancangan atau pengembangan aerator menjadi penukar kalor kontak langsung, diperlukan perhitungan perpindahan panas dari air ke gelembung air. Rumus rumus perpindahan konveksi paksa untuk keperluan ini. Pendekatan yang mungkin dilakukan adalah sebagaimana yang digunakan pada penukar kalor kontak langsung, yang pada umumnya berupa cooling tower atau kondensor. Perbedaan yang sangat mencolok antara sistem yang hendak dikembangkan ini dengan *cooling tower* adalah pada *cooling tower*, air disemprotkan dalam bentuk hujan atau kabut ke dalam aliran udara sehingga kalor dari air terserap oleh udara. Formula yang digunakan dalam perhitungan *cooling tower* berpangkal pada kalor air yang diserap oleh udara (Marley, 2002) Persamaan persamaannya tidak melibatkan fenomena transport panas dari air ke udara. Persamaan transport panas dari air ke udara pada *cooling tower* tentulah berbeda dengan persamaan transport panas pada aerator.

Perancangan mula yang telah dilakukan menggunakan pendekatan perpindahan panas antara permukaan padat dengan air. Gelembung udara dianggap sebagai bola padat yang melintas dalam air atau dianggap sebagai silinder padat yang sekitarnya dialiri air (Aswara, A Fauzan, 2005). Pendekatan ini digunakan mengingat tidak tersedianya persamaan perpindahan panas udara dan air (James R Welty, dkk, 2001).. Hal ini memicu ketidakakuratan dalam perhitungan sehingga dikhawatirkan menjadikan hasil akhir disain tidak mampu bekerja sebagaimana diharapkan.

Menindaklanjuti kebutuhan rumus perpindahan panas tersebut maka dilakukan serangkaian percobaan yaitu: Perpindahan panas antara satu gelembung udara dengan air, Perpindahan panas antara udara berbentuk silinder dengan air.

Perpindahan panas antara satu gelembung udara dengan air, diselidiki untuk mendapatkan rumus perpindahan panasnya. (Andoko, 2006). Udara dilepaskan dari dalam mangkok bergerak ke atas sambil menyerap kalor air, sehingga suhu udara naik. Kenaikan suhu udara antara saat di bawah air dan setelah di permukaan air digunakan untuk menghitung Kalor yang diserap udara, yang besarnya sama dengan kalor yang diserap air. Harga kalor yang diperoleh digunakan untuk mendapatkan hubungan antara Nu dengan parameter lain. Perluasan batas persamaan dilakukan (Zulaili, 2006). Ketika debit diperbesar diharapkan terbentuk rangkaian gelembung berbentuk silinder. Perpindahan panas antara udara berbentuk tabung dengan air yang dilewatinya dirumuskan dalam bentuk angka perpindahan panas tak berdimensi Nu . (Donny, 2006)

Rumusan Masalah.

Pada proses perancangan mula yang telah dilakukan dengan pendekatan perpindahan panas dengan bola padat atau silinder padat dengan air disadari memiliki kelemahan pada prediksi besarnya kemampuan perpindahan panas, mengingat pada sistem yang dikembangkan ini perpindahan panasnya adalah antara gelembung udara dengan air.

Perancangan ini tetap dilakukan dalam rangka memperoleh informasi kebutuhan karakteristik perpindahan panas air dan gelembung pada perhitungan perancangan penukar kalor kontak langsung air dan gelembung udara.

Beberapa variabel pengamatan yang diperlukan dalam perhitungan penukar kalor kontak langsung air dengan gelembung udara adalah: Tekanan air, Kecepatan air, Laju aliran massa air, Suhu air, Debit air dalam kanal. Sedangkan dari sisi udara antara lain; kecepatan udara, laju massa aliran udara, tekanan udara, temperatur udara. Kesemua variabel tersebut dalam upaya mendapatkan perpindahan panas antara aliran udara dengan air yang dilewatinya. (Aswara, Fauzan 2005)

Dalam penerapan disain, kemudahan dalam pengoperasian alat menjadi pertimbangan. Diffuser ditempatkan dalam air, udara dialirkan dengan debit dikendalikan agar diperoleh pendingina udara yang maksimal. Dan oleh sebab itu disamping beberapa rumus yang diperoleh juga dibutuhkan hubungan antara laju aliran udara dengan laju aliran air.

Dari berbagai hal diatas maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Udara lepas dari lubang diffuser berupa bola tunggal lepas didalam air kemudian bergerak ke atas sambil terjadi perpindahan panas dari air ke udara. Maka dicari i persamaannya (Andoko, 2006).
2. Udara dilepaskan dari dalam mangkok bergerak ke atas sambil menyerap kalor air, sehingga suhu udara naik. Kenaikan suhu udara antara saat di bawah air dan setelah di permukaan air digunakan untuk menghitung Kalor yang diserap udara, yang besarnya sama dengan kalor yang diserap air. Harga kalor yang diperoleh digunakan untuk mendapatkan hubungan antara Nu dengan parameter lain. Perluasan batas persamaan dilakukan (Zulaili,2006). Diperluka penggabungan persamaan untuk diperoleh persamaan yang digunakan secara lebih praktis dan mudah.
3. Ketika debit diperbesar diharapkan terbentuk rangkaian gelembung berbentuk silinder. Perpindahan panas antara udara berbentuk tabung dengan air yang dilewatinya dirumuskan dalam bentuk angka perpindahan panas tak berdimensi Nu. (Donny, 2006). Bila dianggap kondisi rumusan 1 dan rumusan 2, dan apa yang diuraikan pada rumusan 3 maka di rumuskan hubungan perpindahan panasnya yang merangkum semua fenomena tersebut.
4. Pada disain diffuser adalah dimungkinkan dibuat dalam keadaan bertingkat beberapa tingkatan vertikal. Artinya , pipa pipa diffuser berjajar keatas. Masalahnya adalah berapa jarak yang tepat agar dipderoleh penyerapan aklor air

oleh udara secara maksimal. Gelembung yang bergerak ke atas suhunya akan naik hingga suatu posisi/ suatu ketika suhunya akan sama dengan suhu air. Pada keadaan suhu air yang sudah sama dengan suhu air ini maka tidak akan terjadi penyerapan kalor atau tidak terjadi perpindahan panas antara air dengan udara. Oleh sebab itu perlu dicari pada jarak berapa suhu udara sudah menjadi sama dengan suhu air. Jarak ini kemudian disebut sebagai jarak efektif perpindahan panas. Yaitu jarak atau panjang lintasan dimana perpindahan panas masih efektif berlangsung.

5. Untuk lebih mendalami karakteristik aliran dan perpindahan panasnya, adalah sulit jika menggunakan pengamatan visual. Hal yang mungkin adalah dengan simulasi memanfaatkan software CFD (Computational of Fluids Dynamics). Dengan cara ini akan dapat ditelusuri berapa jarak efektif (sebagaimana rumusan 4). Dan trend perpindahan panasnya.
6. Penukar kalor kontak langsung yang dirancanag ini adalah dengan menginjeksikan sejumlah udara di dalam air. Semakin banyak jumlah udara di injeksikan, makin banyak kalor air yang diserap sehingga air menjadi dingin. Pada suatu jumlah udara tertentu penyerapan kalor menjadi tidak maksimal, hal ini disebabkan udara akan membentuk gelembung besar, bukan berbentuk gelembung kecil. Jumlah luasan permukaan kontak antara Yang diharapkan dari injeksi udara dalam air adalah terbentuknya gelembung gelembung halus, mengingat gelembung kecil /halus memberikan jumlah permukaan lebih luas daripada gelembung besar.

Maka perlu diketahui hubungan antara debit udara yang dikeluarkan dengan kemampuan penyerapan air atau antara debit udara dengan penurunan suhu air.

7.

Urgensi Penelitian

Perbaikan persamaan diperlukan mengingat selama pengujian ditemukan parameter yang tidak bisa diamati dengan baik karena sifat fisiknya, yang mempengaruhi perhitungan laju perpindahan panas, begitu juga dengan koefisien perpindahan panasnya. Perbaikan persamaan diperlukan mengingat selama pengujian ditemukan parameter yang tidak bisa diamati dengan baik karena sifat fisiknya, yang mempengaruhi perhitungan laju perpindahan panas, begitu juga dengan koefisien perpindahan panasnya. Sensing suhu gelembung terpengaruh pengaruh suhu air sehingga mempengaruhi perhitungan kalor. (Andoko, 2006; Zulaili, 2006; Donny, 2006)

Penelitian ini didedikasikan untuk memperoleh. memperoleh koreksi persamaan perpindahan panas dan hubungan antar variabel agar perhitungan disain Penukar kalor kontak langsung tipe diffuser dapat dilaksanakan dengan baik. Lebih jauh yang diharapkan adalah beberapa karakteristik perpindahan panas gelembung udara dan air untuk digunakan dalam disain sistem pendingin air limbah kondensor.

Sensing suhu gelembung terpengaruh pengaruh suhu air sehingga mempengaruhi perhitungan kalor. Formula perpindahan panas yang dihasilkan digunakan untuk

perhitungan disain Penukar kalor kontak langsung tipe diffuser.

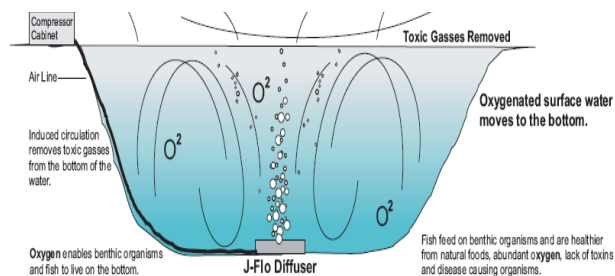
(www.deanlewis.com; Aerator, Ponds Aerator, 2000; Marley, 2002)

Penukar kalor tipe diffuser yang sistemnya serupa dengan aerator dirancang untuk keperluan pendingin air khususnya air laut panas limbah industri. Limbah panas ini sering terjadi pada pembangkit listrik dengan bahan bakar batu bara, bahan bakar gas, panas bumi, yang saat ini semakin banyak dibangun atau hasil pengalihan disel dan banyak dibangun ditepi laut. Pengembangan PLTU berbasis batu bara ini disebabkan semakin sedikit dan semakin mahalnya minyak disel atau bahan bakar minyak sementara bahan bakar batu bara dan gas melimpah dan tidak habis hingga 150 tahun kedepan sekalipun eksplorasi maksimal. Apabila limbah air panas langsung dibuang ke laut maka akan menimbulkan kerusakan di sekitar wilayah buangan. (Majalah TAMBANG, Juni 2005, www.tekmira.esdm.go.id; Central Bureau of Statistics, 2002)

Sistem pendingin model diffuser tersebut telah dilakukan kaji kelayakan dengan perbandingan antara beberapa macam sistem pendingin seperti, cooling tower, pendingin model plat evaporator, pendingin model aerator kincir, Radiator dll. Dengan demikian Formula hasil perbaikan sangat diperlukan untuk disain penukar kalor kontak langsung tipe diffuser yang serupa dengan aerator dan sangat diperlukan untuk pendingin air limbah sebelum air limbah dibuang ke laut. Pembuangan air limbah ke laut secara langsung dalam waktu lama akan menyebabkan kerusakan lingkungan . (Budiono 2004)

BAB I I. STUDI PUSTAKA

Penerapan perasamaan yang dirumuskan berdasarkan perpindahan panas antara gelembung udara dengan air adalah pada diffuser udar yang ditempatkan di dasar kolam atau di dasar kanal. Suatu sistem aerator pada April 2000 telah dinyatakan lolos uji sebagai sistem yang secara amat baik dapat menambah kandungan oksigen dalam air oleh China Fishery Machinery Instruments Equality Supervision Center.



Gambar1. , data internet Aerator, PondAerator (www.deanlewis.com)

Sistem ini terdiri dari 3 bagian dasar yaitu (1.) Kompresor udara dengan motornya, (2) Pipa Udara dan (3.) Diffuser tempat gelembung keluar ke dalam air.

(Aerator,Ponds Aerator, 2000)

Selain terjadi substitusi oksigen, tentu saja akan terjadi perpindahan kalor secara konveksi. Sistem ini dikembangkan untuk penyerapan kalor air menggunakan udara .

Pendekatan lain adalah sebagaimana yang digunakan pada penukar kalor kontak langsung, yang pada umumnya berupa cooling tower atau kondensor. Formula yang digunakan dalam perhitungan *cooling tower* berpangkal pada kalor air yang diserap oleh udara (Marley, 2002) Persamaan persamaannya tidak melibatkan fenomena transport panas dari air ke udara.

Udara yang disebarkan diffuser di kedalaman air, bergerak ke atas dalam bentuk gelembung. Mula mula suhu udara adalah T_{g1} , selama bergerak ke atas gelembung menyerap kalor dari air di sekitarnya dengan laju penyerapan kalor sebesar:

$$Q_{conv} = h \cdot A_{conv} \cdot \Delta Tm_{air-udara} \quad 2.1$$

Q_{conv} = Kalor yang dikonveksikan dari air ke gelembung udara

A_{conv} = Luas bidang sentuh antara permukaan gelembung dengan udara. Sama dengan luas selimut gelembung, (bola).

$\Delta Tm_{air-udara}$ = Beda suhu logarithmic antara air dengan udara dengan suhu udara dianggap konstan.

h = koefisien perpindahan panas konveksi antara air dengan gelembung. (James R Welty 2001)

(Q_{conv}) merupakan kalor yang dihitung untuk mengetahui jumlah kalor yang bisa dialihkan melalui antarmuka (*interface*) dari air dan gelembung. Kalor ini yang kemudian menambah energi dalam gelembung udara sehingga suhunya naik sebesar

($\Delta T_{g_{udara}}$). Semua suku kecuali (h) pada ruas kanan dapat dihitung atau diketahui dari data.

$$h = \frac{Nu \cdot k}{d} \quad 2.2$$

Koefisien perpindahan panas konveksi h lazimnya dinyatakan dalam bentuk tak berdimensi yaitu angka Nusselt (Nu), yang merupakan fungsi empiris dari angka Reynold dan variabel lain. Fungsi angka Nusselt (Nu) empiris inilah salah satu yang perlu digali dalam penelitian ini.

$$Nu = \frac{h \cdot d}{k} = Nu(Re, Pr, v_l) \quad 2.3$$

Pada perpindahan panas konveksi antara fluida dengan salurannya (permukaan padat) maka aliran fluida untuk menghitung angka Reynold adalah kecepatan fluida. Pada persoalan Aerator ini, kecepatan fluida terdiri dari dua air dan udara. Bagaimana rumusan angka Reynold gabungan antara kedua fluida ini yang perlu dicari.

Perpindahan panas total pada aliran udara didalam air akan bertambah seiring dengan jumlah gelembung yang dilepaskan. Jika gelembung bersentuhan dengan gelembung lain, maka akan bergabung membentuk sebuah gelembung yang lebih besar.

Semakin diperbesar aliran udara, maka gelembung gelembung dapat bersatu membentuk silinder. Hal ini akan mengurangi luas total permukaan kontak antara air dengan udara dan berakibat berkurangnya perpindahan panas total antara air dengan udara. Akibat fenomena ini Perlu diketahui aliran udara atau pelepasan gelembung yang memberikan memberikan perpindahan panas maksimal. Mengingat bentuk

gelembung dan bentuk silinder berbeda luasan total dan berubah rumusan luasannya, maka koefisien perpindahan panas akan berubah juga dan perlu dirumuskan sebagai perpindahan panas antara silinder udara dengan air.

Kalor dari air yang diserap udara digunakan meningkatkan energi dalam udara sehingga suhunya bertambah. Jumlah kalor tersebut Sesuai dengan rumus :

$$Q_{\Delta u} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T_u \quad 2.4$$

dimana :

m = massa gelembung

C_p = Kalor jenis tekana konstan Udara

ΔT_{udara} = Beda antara suhu mula mula dengan suhu setelah waktu tertentu melintasi air.

Secara umum perpindahan panas konveksi, berdasarkan cara terjadinya transfer massa dibedakan dalm dua hal yaitu konveksi paksa dan konveksi bebas. Konveksi paksa , gerakan fluida disebabkan gaya luar, sedang konveksi bebas tranport massanya disebabkan oleh terutama gaya apung. Biasanya permukaannya berupa bidang rata, silinder (pipa), dan permukaan bola. (Structural Dynamics Research Corporation, 2001)

Dengan menggunakan metode Buckingham, untuk mengelompokkan variabel, James R Welty (2002) memaparkan bahwa :

$$Nu = f_1 (Re, Pr) \quad 2.5$$

Untuk aliran diatas plat horizontal diperoleh

$$\frac{h_x \cdot x}{k} = Nu_x = 0,332 Re_x^{1/2} \quad 2.6$$

Jika menggunakan deret pangkat dan menggunakan percobaan maka dihasilkan

$$Nu_x = 0,36 Re_x^{1/2} \cdot Pr^{1/3} \quad 2.7$$

rumus ini memberikan angka 8% dari rumus eksak diatas.

Penelitian terkait dengan konveksi antara fluida silinder banyak dilakukan dan menghasilkan beragam bentuk rumus, Menariknya ketika dilakukan plot terhadap rumus rumus tersebut pertamakalinya oleh Mc Adam sebagaimana yang dikutip ,, dan dan diterapkan kepada bentuk :

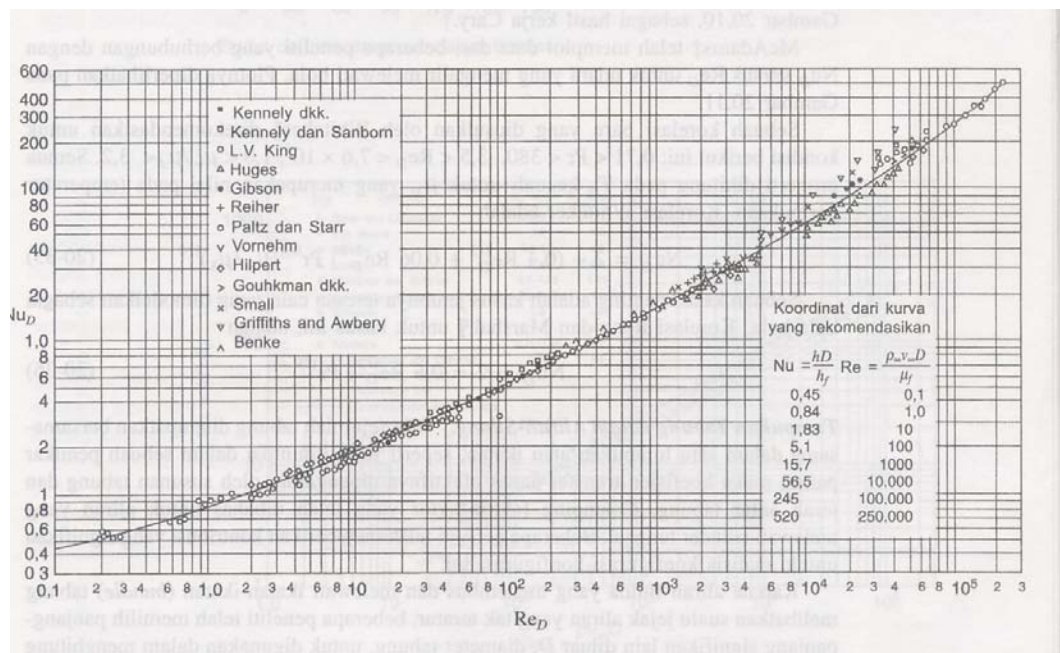
$$Nu_D = B \cdot Re^n \cdot Pr^{1/3} \quad 2.8$$

memberikan hasil yang istimewa, sebagaimana yang dikutip oleh James R Welty (2002), dll. Dimana konstanta B dan pangkat n merupakan fungsi dari angka Reynold yang ditulis dalam bentuk tabel merupakan hasil eksperimen. Berntuk serupa inilah yang kemudian menjadi acuan dan sering dipakai dalam berbagai ekspres hasil penelitian.

Untuk kasus fluida melewati bola tunggal James R Welty mengutip dari penelitian Ranz& Marshal

$$Nu_D = 2 = 0,6 \cdot Re_D^{1/2} \cdot Pr^{1/3} \quad 2.9$$

Bentuk ini relevan dengan persamaan 2.8. Cara lain untuk memformulasikan hubungan antara Reynold dan Nusselt Number adalah dengan penyajian dalam bentuk grafik yang salah satunya adalah Seperti gambar 3. Pada sisi absis adalah nagka Reynold sedang pada ordinat adalag angka Nusselt. Data data hasil penelitian diplot pada diagram tsb dan sekaligus dirumuskan hubungan antara angka Reynold terhadap angka Nusselt.



Gambar 3: Angka Perpindahan Panas

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa cara yaitu: aliran air konstan dan aliran udara divariasikan, aliran udara kosntan dan aliran air divariasikan dan aliran kedua fluida divariasikan. sebagaimana dilakukan oleh (Henry Nasution ,2002) tetapi penelitiannya tersebut hanya melibatkan aliran fluida dan pemetaan aliran dan tidak melibatkan perpindahan panas.

Persamaan berbentuk umum untuk perpindahan panas konveksi paksa, sebagaimana diusulkan oleh Dittus & Boelter, (Holman, 1993)

$$Nu_x = C Re^m \cdot Pr^n \quad 2.10$$

dengan daftar konstanta

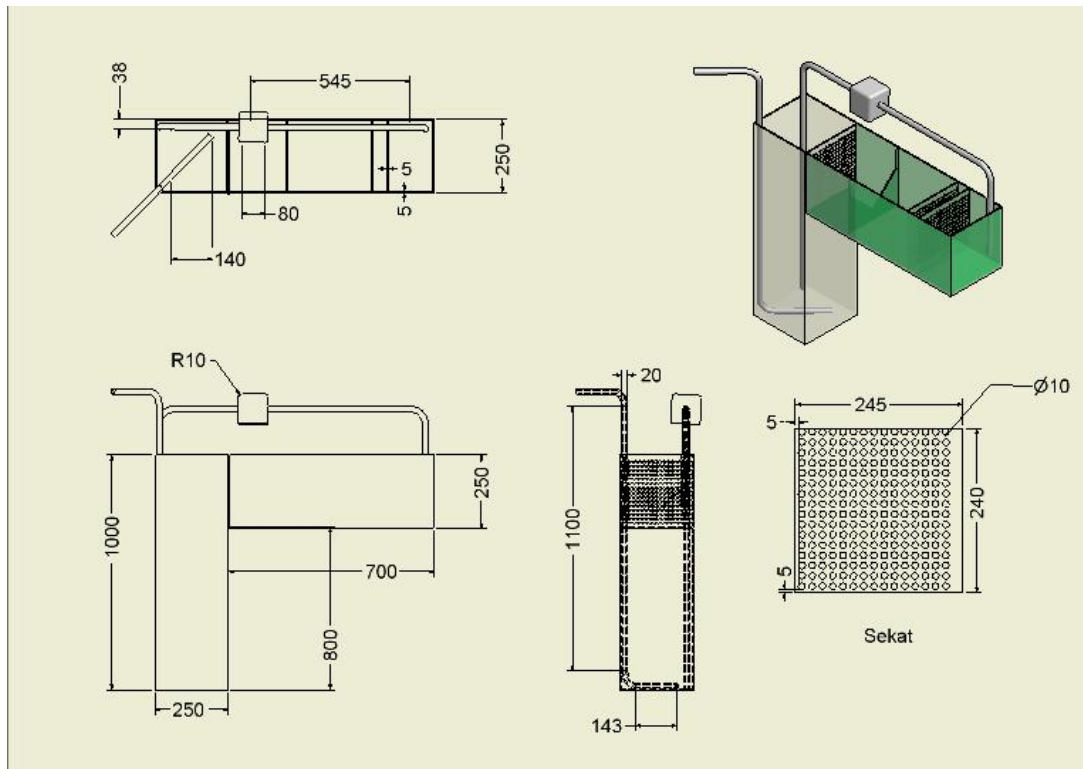
Re	C	m
0,4-4	0,989	0,330
4-40	0,911	0,385
40-4000	0,683	0,466
4000-40000	0,193	0,618
40000- 400000	0,0266	0,805

BAB III. METODE PENELITIAN

Instalasi Percobaan

Instalasi percobaan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah seperti gambar 3-

1.



Gambar 3-1 Instalasi percobaan

Macam-macam alat yang digunakan

No	Jumlah	Nama
1	1	Tabung 1
2	1	Tabung 2
3	3	Sekat

4	1	Pipa 1
5	1	Pipa 2
6	1	Pipa 3
7	1	Pompa

Peralatan Bantu terdiri dari alat-alat yang digunakan sebagai alat pendukung untuk proses kerja alat specimen aerator dan alat-alat ukur yang digunakan untuk mengukur parameter-parameter pengujian.peralatan bantu tersebut yang digunakan adalah

Kompresor

Alat jenis ini digunakan untuk menyemprotkan/menginjeksikan udara kedalam air untuk menghasilkan gelembung udara sesuai yang dibutuhkan. Spesifikasi dari kompresor yang digunakan adalah:

Model

: 8 KD-8L

Tekanan

: 0,7 Mpa

Daya

: 550 W/0,75 Hp

Kapasitas tangki

: 8

liter

Kecepatan udara

:

50 l/min

Pompa Air

Digunakan untuk menghisap dan mengalirkan fluida sebagai sirkulasi pemanasan air agar suhu merata dari atas ke bawah.

Daya pompa

: 125 Watt

Kapasitas pompa

:

42 L/menit

Suct heat

: 9Meter

Disc heat

: 24 Meter

Total heat

: 33 Meter

Size

: 1" x 1"

Rpm

: 2850

Komputer

Digunakan untuk transfer data hasil dari sensor jenis thermokopel yang mana menggunakan komponen penguat tipe LM 358 yaitu sensor tersebut berfungsi untuk mendeteksi suhu gelembung udara kemudian ditransfer ke computer.

Adapun rangkaian (Circuit) sensor adalah :

Sensor ini dipergunakan untuk menstabilkan suhu air pada keadaan konstan sesuai yang kita inginkan (50°C - 60°C).

Sensor jenis thermokopel

Sensor ini dipergunakan untuk mendeteksi suhu gelembung udara mencapai permukaan

Heater (pemanas air)

Digunakan untuk pemanas air

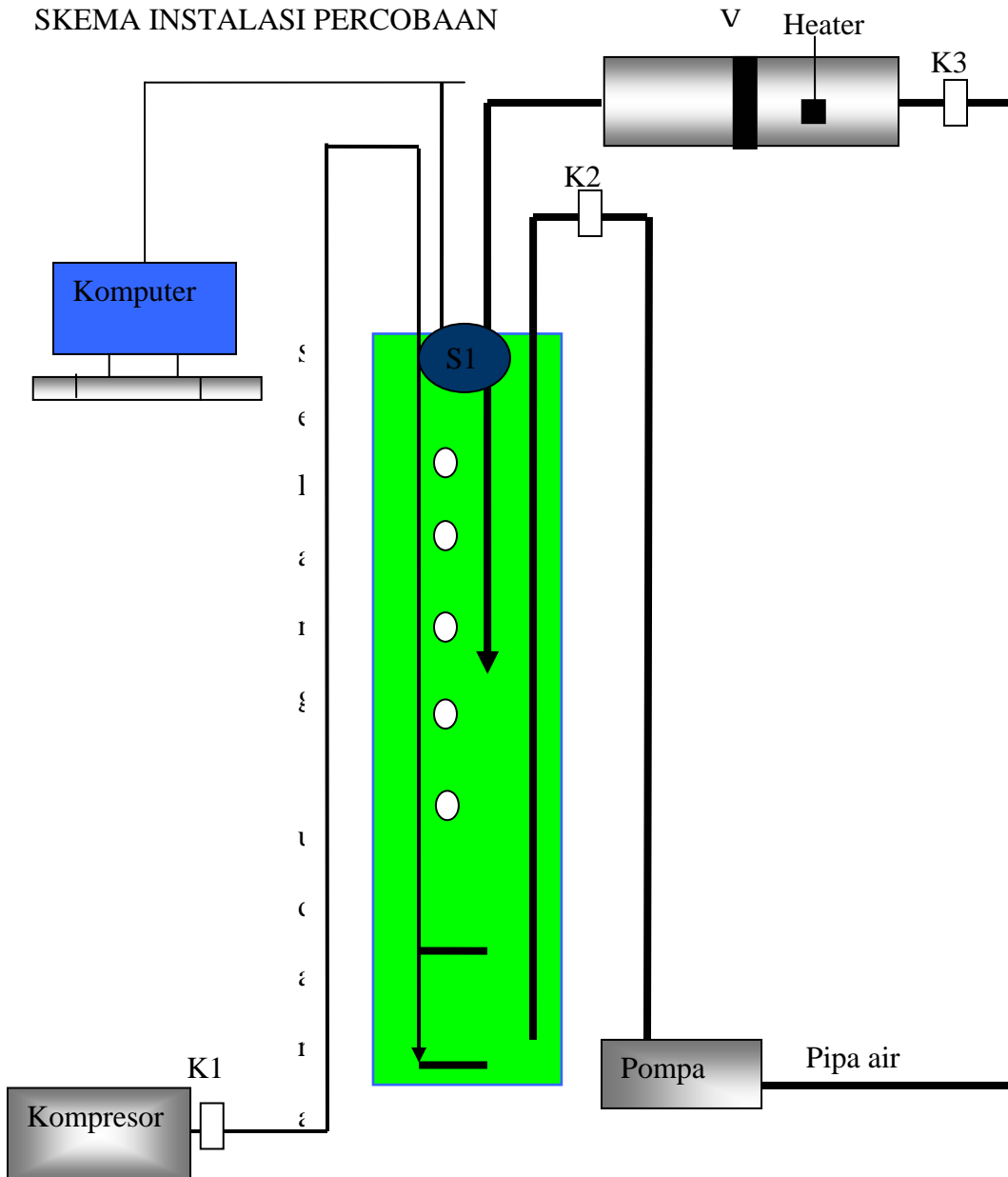
Katup

Untuk mengatur bukaan air yang melalui pipa

Kamera digital

Digunakan untuk menangkap gambar (foto) gelembung udara.

SKEMA INSTALASI PERCOBAAN



Keterangan :

S1 : sensor Thermokopel

K1 : katup kompresor

K2 : keran air 1

Data Pengamatan

Data data yang diamati adalah sbb:

Volume gelembung

Tg1 : Suhu udara kamar

Tg2 : Suhu udara diatas setelah menyerap kalor air.

ΔT : Kenaikan suhu udara

s: Jarak tempuh gelembung (kedalaman air)

t: Lama waktu pengukuran

Ulangan 5 x

Diambil rata rata masing masing. Untuk diproses dalam perhitungan .

Prosedur Perhitungan

1. Dari suhu udara yang diketahui , digunakan tabel untuk mengetahui: Cp, Pr, k, v

$$2. Q_{\Delta u} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T_u$$

$$3. \Delta T_m = \frac{(T_{air_2} - T_{gel_2}) - (T_{air_1} - T_{gel_1})}{\ln(T_{air_2} - T_{gel_2}) - \ln(T_{air_1} - T_{gel_1})}$$

$$4. Q_{conv} = h \cdot A_{conv} \cdot \Delta T_m_{air-udara}$$

$$h = \frac{Q_{conv}}{A_{conv} \cdot \Delta T m_{air-udara}}.$$

$$5. \quad h = \frac{Nu \cdot k}{d} \quad ; \quad Nu = \frac{hd}{k}$$

$$6. \quad Re = \frac{U_{\infty} \cdot d}{\nu}$$

$$7. \quad Nu_x = C Re^m \cdot Pr^n$$

$$8. \quad \ln \frac{Nu}{Pr^n} = \ln(C Re^m \cdot Pr^n)$$

$$\ln \frac{Nu}{Pr^n} = \ln C + m \cdot \ln(Re)$$

$$a = \ln \frac{Nu}{Pr^n} \quad \text{merupakan konstanta, diketahui}$$

$$b = \ln C \quad \text{variabel yang dicari}$$

$$f = \ln(Re) \quad \text{konstanta}$$

Sehingga persamaan dapat disederhanakan menjadi:

$$a = b + m f$$

Tiap satu angka Reynold diperlukan dua suhu untuk mencari m dan C.

Cara Melakukan Percobaan :

Terdapat tiga bagian cara melakukan percobaan untuk memperoleh jawaban atas rumusan masalah yang ada.

Cara 1. (Rumusan Masalah 1,2,3)

Air dalam kolom air dijaga pada suhu konstan yang telah ditentukan (T_1). Udara dari kompresor diisikan ke dalam tabung penampung udara yang tekanannya (P_1) dijaga konstan. Udara dialirkan langsung melalui diffuser dengan Re atau debit dan tekanan tertentu. Selama udara mengalir dari lubang diffuser (P_2 , μ , T_{u1}) menuju ke permukaan terjadi penyerapan kalor air sehingga suhu udara naik (T_{u2}). Kenaikan suhu udara ini digunakan untuk menghitung kalor yang diserap udara yang sama dengan jumlah kalor yang dilepaskan air. Perhitungan kalor dilakukan sesuai langkah langkah perhitungan untuk memperoleh besar perpindahan panas. Perpindahan panas yang diperoleh digunakan untuk merumuskan persamaan perpindahan panas tak berdimensi Nu .

Cara 2, (Rumusan Masalah 4)

Pengambilan data dilakukan dengan mengambil data dari percobaan yang dilakukan, adapun variable yang akan diamati adalah sebagai berikut:

Variabel bebas yaitu variabel yang bebas diambil, yang telah ditentukan oleh peneliti.

Adapun variabel bebas tersebut antara lain adalah tekanan kompresor, temperature air, diameter Lubang, kapasitas air dan panjang lintasan gelembung.

Variabel terikatnya adalah gelembung itu tidak selalu berada dalam keseimbangan termodinamik dengan zat cair disekitarnya, artinya uap (udara) dalam gelembung berada pada suhu yang sama dengan zat cair mulai dari suhu dasar sampai suhu permukaan, waktu gelembung menyerap kalor dari bawah sampai permukaan.

Setelah persiapan pengujian dilakukan dan semua keperluan pengujian dipenuhi maka pelaksanaan pengujian dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut

Mempersiapkan semua peralatan, bahan yang digunakan dan diperiksa apakah peralatan yang dipakai dalam kondisi baik.

Mengkalibrasikan sensor sebelum digunakan

Memanaskan air sesuai suhu yang di perlukan yaitu 40°C

Menghidupkan kompresor, kemudian buka program sensor suhu jenis thermokopel untuk mendeteksi suhu gelembung udara

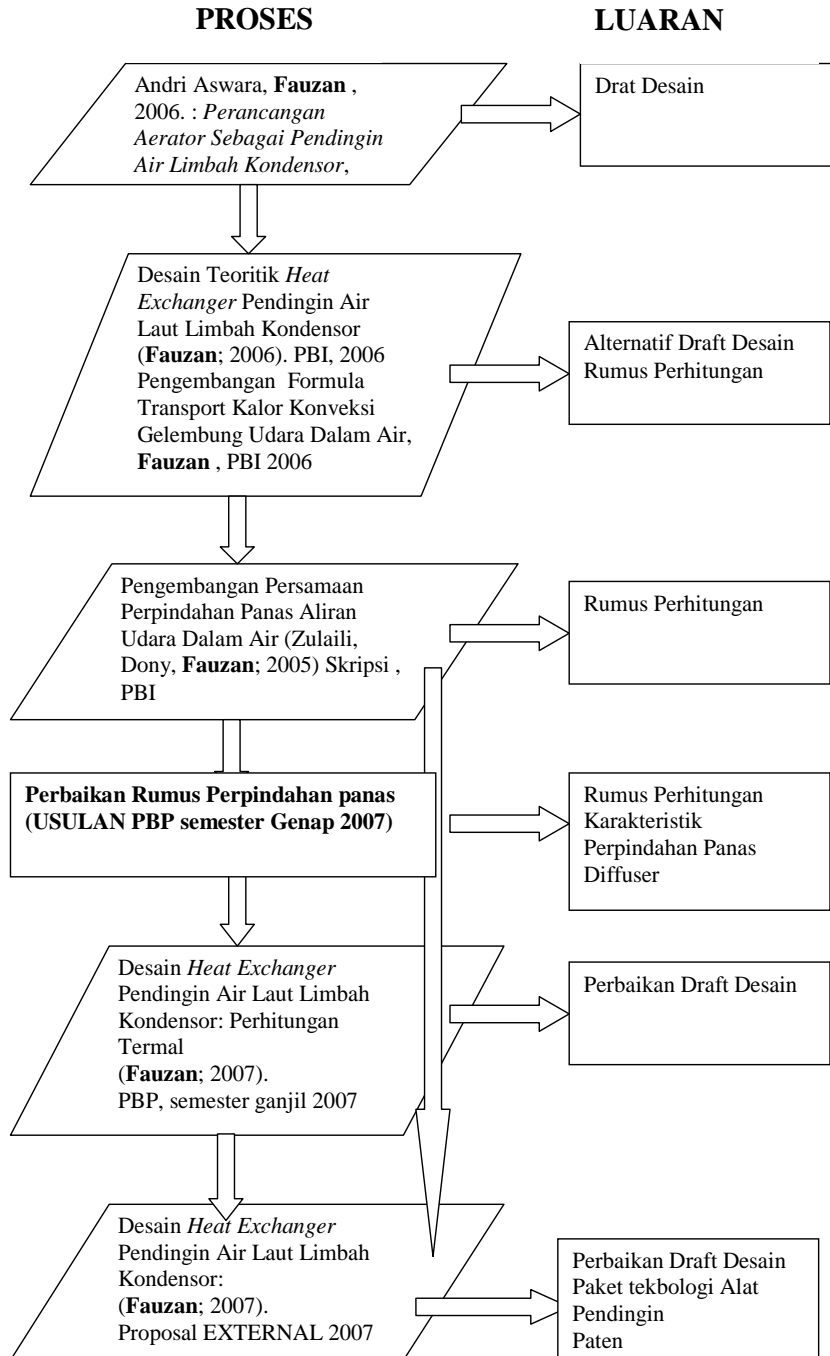
Memutar kran kompresor pada tekanan konstan sehingga menghasilkan gelembung gelembung

Memutar kran rotameter dengan massa aliran konstan

Mengukur suhu gelembung udara permukaan (T_g) dengan sensor jenis thermokopel dan melihat hasil suhu gelembung pada komputer yang sudah diaktifkan.

Untuk suhu 50 dan 60 kembali ke perintah no 2

ROAD MAP PENELITIAN



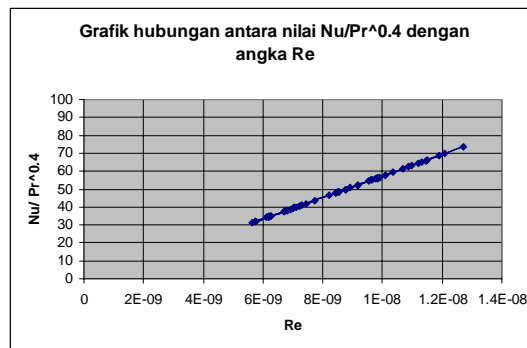
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Persamaan tersebut serupa dengan persamaan lain dari Nu yang merupakan fungsi dari Re dan Pr . Sementara itu Re adalah perbandingan antara gaya inersia dengan gaya kekentalan, yang sekaligus merupakan fungsi dari diameter gelembung, viskositas, massa jenis, temperatur, . Pada dasarnya Nu merupakan fungsi dari temperatur. Sedangkan percobaan untuk memeriksa hubungan antara aliran udara dengan

No	m udara	Q (Watt)
1	0,0000239	0,003825
2	0,0000657	0,003404
3	0,0001349	0,003055
4	0,002357	0,002783
5	0,0003718	0,003866

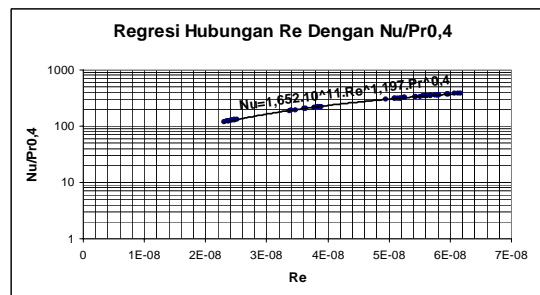
Pada suhu 40°C kalor yang paling banyak diserap terjadi pada laju aliran air $0,0000239 \text{ Q}(\text{m}^3/\text{s})$ dengan penyerapan kalor sebesar $0,002089 \text{ W}$. Hubungan antara kalor yang diserap dengan laju aliran air pada suhu 50°C . Pada suhu 50°C kalor yang paling banyak diserap terjadi pada laju aliran air $0,0003718 \text{ Q} (\text{m}^3/\text{s})$ dengan penyerapan kalor sebesar $0,003866 \text{ W}$.

Untuk hubungan antara laju aliran air dan kalor yang diserap secara umum kecuali pada percobaan pertama semakin tinggi laju aliran makin tinggi pula kalor yang diserap,



Persamaan $Nu = 1.21 \cdot 10^{10} Re^{1,041} Pr^{0,4}$ 2.11

berlaku dengan batasan – batasan sebagai berikut : $n = 0.4$ (pemanasan); $0.706 < Pr < 0.707$; $5,63E-08 < Re < 9,82E-08$



Persamaan. $Nu = 1.652 \cdot 10^{11} Re^{1,197} Pr^{0,4}$ 2.12

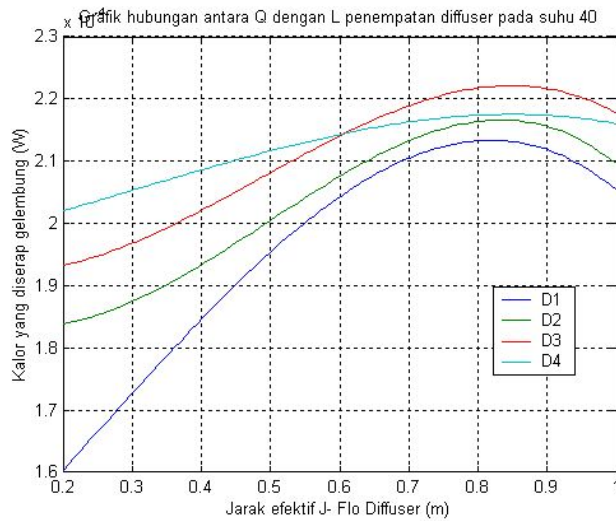
berlaku dengan batasan – batasan sebagai berikut : $n = 0.4$ (pemanasan)
 $0.706 < Pr < 0.707$ dan $2.30362E-08 < Re < 6.16527E-08$

Pada suhu 40°C

Tabel hubungan kalor yang diserap gelembung dengan jarak efektif penempatan diffuser pada variasi diameter (0,001), (0,0015), (0,002), (0,0025)m.

d1		d2		d3		d4	
q	L	q	L	q	L	q	L
0.000162	0.2	0.000185	0.2	0.000194	0.2	0.000202	0.2
0.000174	0.35	0.000187	0.35	0.000197	0.35	0.000207	0.35
0.000206	0.55	0.000208	0.55	0.000214	0.55	0.000213	0.55
0.000209	0.75	0.000213	0.75	0.000219	0.75	0.000217	0.75
0.000206	1	0.00021	1	0.000218	1	0.000216	1

Data hasil analisa jarak efektif penempatan diffuser didalam air dapat ditunjukkan melalui grafik dibawah ini:



Gambar 1.1 Grafik hubungan Q dengan jarak efektif penempatan diffuser

Pada gambar grafik diatas menunjukkan hubungan antara kalor yang diserap gelembung dengan jarak efektif penempatan diffuser. Dari keempat variasi diameter, bahwa kalor yang diserap gelembung secara optimal pada jarak penempatan diffuser 0,6 – 0,8m. sehingga Gradasi kalor berbanding lurus atau terbalik pada jarak efektif penempatan diffuser.

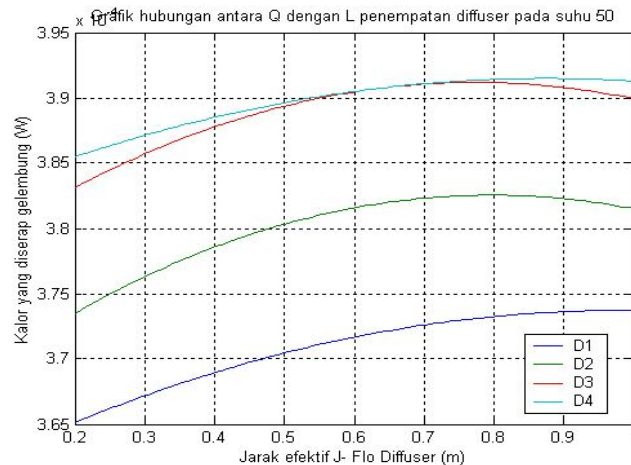
Pada suhu 50°C

Tabel hubungan kalor yang diserap gelembung dengan jarak efektif penempatan diffuser pada diameter (0,001), (0,0015), (0,002), (0,0025)

d1		d2		d3		d4	
q	L	q	L	q	L	q	L
0.000366	0.2	0.000374	0.2	0.000383	0.2	0.000386	0.2
0.000367	0.35	0.000377	0.35	0.000387	0.35	0.000387	0.35
0.00037	0.55	0.00038	0.55	0.00039	0.55	0.00039	0.55
0.000375	0.75	0.000384	0.75	0.000391	0.75	0.000392	0.75
0.000373	1	0.000381	1	0.00039	1	0.000391	1

Data hasil analisa jarak efektif penempatan diffuser didalam air dapat ditunjukkan melalui grafik dibawah

ini:



Gambar 1.2 Grafik hubungan Q dengan jarak efektif penempatan diffuser

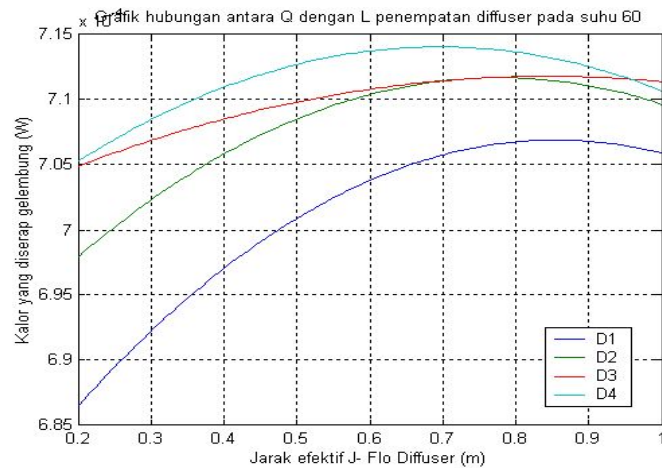
Pada gambar grafik diatas menunjukkan hubungan antara kalor yang diserap gelembung dengan jarak efektif penempatan diffuser. Dari keempat variasi diameter, bahwa kalor yang diserap gelembung secara optimal pada jarak penempatan diffuser 0,6 – 0,8m. sehingga Gradasi kalor berbanding lurus atau terbalik pada jarak efektif penempatan diffuser.

Pada suhu 60°C

Tabel hubungan kalor yang diserap gelembung dengan jarak efektif penempatan diffuser pada diameter (0,001), (0,0015), (0,002), (0,0025)

d1		d2		d3		d4	
q	L	q	L	q	L	q	L
0.000689	0.2	0.000697	0.2	0.000705	0.2	0.000706	0.2
0.00069	0.35	0.000706	0.35	0.000708	0.35	0.000709	0.35
0.000704	0.55	0.000709	0.55	0.000709	0.55	0.000712	0.55
0.000708	0.75	0.000711	0.75	0.000713	0.75	0.000716	0.75
0.000705	1	0.00071	1	0.000711	1	0.00071	1

Data hasil analisa jarak efektif penempatan diffuser didalam air dapat ditunjukkan melalui grafik dibawah ini:



Gambar 1.3 Grafik hubungan Q dengan jarak efektif penempatan diffuser

Pada gambar grafik diatas menunjukkan hubungan antara kalor yang diserap gelembung dengan jarak efektif penempatan diffuser. Dari keempat variasi diameter, bahwa kalor yang diserap gelembung secara optimal pada jarak penempatan diffuser 0,6 – 0,9m. sehingga Gradasi kalor berbanding lurus atau terbalik pada jarak efektif penempatan diffuser.

BABV KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Bahwa pada suhu 40, 50 dan 60 kalor yang diserap gelembung secara optimal pada jarak efektif penempatan diffuser adalah 0,6 – 0,8m. Sehingga Gradasi kalor berhubungan lurus atau terbalik pada jarak efektif penempatan diffuser.

Saran

1. Peneliti merekomendasikan agar dalam penelitian berikutnya dapat memperhatikan diameter gelembung untuk memperoleh suatu persamaan yang nantinya diterapkan pada perancangan diffuser.
2. Tindak lanjut dari penelitian ini adalah digunakannya persamaan yang diperoleh untuk disain diifuser aerator .
3. Dengan diperolehnya persamaan perpindahan panas antara gelembung udara dengan air, maka disain diffuser penukar kalor kontak langsung untuk pendingin air panas limbah kondensor dapat dilanjutkan. Sistem ini serupa dengan model aerator yang digunakan untuk meningkatkan kadar oksigen dalam air. Diffuser dirangkai dan diikat didasar kolam dengan formasi tertentu yang perlu diteliti.



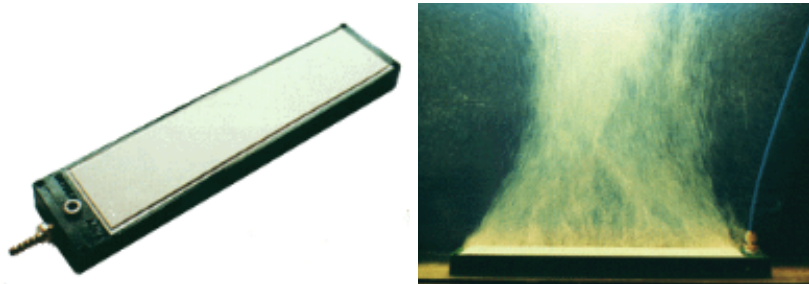
4. Model diffuser tunggal yang disarankan untuk diteliti untuk dikembangkan adalah model membran longkaran , model pipa flexibel, model membran persegi, model pipa berlapis keramik.



Gambar: Model Membran piring



Gambar : Diffuser model pipa berlapis bahan porous



Gambar : Diffuser model membran persegi.

5. Model diffuser lain yang disarankan bisa saja berupa rangkaian pipa fleksibel yang diikat pada rangka baja. .



Gambar : Diffuser ipa fleksibel terikat pada rangka baja.