

**ANALISIS HEAT EXCHANGER  
SEBAGAI ALAT PENGERING IKAN  
DENGAN MEMANFAATKAN PANAS GAS BUANG  
MESIN DIESEL**

*THE STUDY OF HEAT EXCHANGER  
AS A FISH DRYER EQUIPMENT  
UTILISING THE HEAT OF EXHAUSTIVE GAS  
OF A DIESEL ENGINE*

**MUARDI**



**PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2013**

**ANALISIS HEAT EXCHANGER  
SEBAGAI ALAT PENGERING IKAN  
DENGAN MEMANFAATKAN PANAS GAS BUANG  
MESIN DIESEL**

TESIS

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Mesin

Disusun dan diajukan oleh

**MUARDI**

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2013**

**TESIS****ANALISIS HEAT EXCHANGER  
SEBAGAI ALAT PENGERING IKAN  
DENGAN MEMANFAATKAN PANAS GAS BUANG  
MESIN DIESEL**

Disusun dan diajukan oleh

**MUARDI**

Nomor Pokok P2201209007

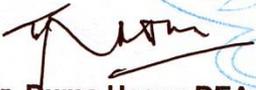
telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

pada tanggal 31 Oktober 2013

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

**Menyetujui**

**Komisi Penasehat,**

  
**Prof. Dr. Ir. Duma Hasan, DEA**

Ketua

  
**Dr.-Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME**

Anggota

Ketua Program studi  
Teknik Mesin

  
**Rafiuddin Syam, ST, M.Eng, Ph.D**

Direktur Program Pascasarjana  
Universitas Hasanuddin,

  
**Prof. Dr. Ir. Mursat, Ir**

## **PERNYATAAN KEASLIAN TESIS**

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Muardi  
Nomor Mahasiswa : P2201209007  
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 07 Nopember 2013

Yang menyatakan

Muardi

## PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke khadirat Allah SWT, Tuhan yang Maha Kuasa, atas Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga tesis ini dapat penulis selesaikan meskipun banyak kendala yang penulis hadapi sejak penyusunan proposal hingga penyelesaian tesis ini.

Tesis dengan judul “Analisis Heat Exchanger sebagai Alat Pengering Ikan dengan Memanfaatkan Panas Gas Buang Mesin Diesel” merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan Pendidikan Magister (S2) pada Program Pascasarjana Teknik Mesin Universitas Hasanuddin Makassar.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang tinggi kepada Prof. Dr. Ir. Duma Hasan, D.E.A. sebagai Ketua Komisi Penasehat dan Dr.-Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME. sebagai Anggota Komisi Penasehat, atas arahan-arahan yang telah diberikan selama penyusunan tesis ini, begitu pula kepada Tim Penguji atas saran yang diberikan kepada penulis. Terima kasih pula penulis sampaikan kepada Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl. Eng. sebagai Kepala Central Workshop Universitas Hasanuddin Makassar, Yasni Masandal, S.T. sebagai Kepala Unit Fine Mekanik dan Muhammad Nasir, S.T. sebagai Kepala Unit Perencanaan serta rekan-rekan di Central Workshop Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu sejak pembuatan hingga pengujian Heat Exchanger.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Dr.-Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME. sebagai Dekan Fakultas Teknik dan Rafiuddin Syam, S.T., M.Eng., Ph.D. sebagai Ketua Program Studi, Direktur, Bapak/Ibu Dosen, Staf Program Studi Teknik Mesin Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin, dan seluruh teman-teman Pascasarjana Teknik Mesin Angkatan 2009.

Terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada Ayahanda dan Ibunda, ayah dan ibu mertua, terlebih kepada istri tercinta, putra-putri tersayang kakak dan adik-adikku yang telah memberikan dukungan, motivasi dan doanya yang luar biasa sehingga penulis dapat merampungkan tesis ini.

Akhir kata, semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Penulis mengharapkan kritik dan saran dalam pengembangan penelitian selanjutnya.

Makassar, 07 Nopember 2013

**Muardi**

## ABSTRAK

**MUARDI.** *Kajian terhadap Penukar Panas sebagai Alat Pengering Ikan dengan Memanfaatkan Panas Gas Buang Mesin Diesel* (dibimbing oleh Duma Hasan dan Wahyu H. Piarah).

Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh prestasi mesin Diesel terhadap efektifitas penukar panas aliran silang dengan memanfaatkan panas gas buang mesin untuk efisiensi pengeringan.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dimana penukar panas dirancang sebagai alat pengering dengan memanfaatkan panas gas buang mesin Diesel. Pembuatan dan pengujian penukar panas ini dilaksanakan di Central Workshop, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Pengujian selama 90 menit dengan beberapa variasi putaran mesin menunjukkan bahwa pada putaran mesin 1600 rpm efektifitas penukar panas 70,09% dan efisiensi pengeringan mencapai 11,41%; pada putaran mesin 1800 rpm, efektifitas penukar panas 70,12% dan efisiensi pengeringan 3,87%; pada putaran mesin 2000 rpm efektifitas nya mencapai 70,61% dan efisiensi pengeringan 2,394%; pada putaran mesin 2200 rpm efektifitas penukar panas mencapai 70,96% sementara efisiensi pengeringan adalah 2,579%, dan pada putaran mesin 2400 rpm efektifitas penukar panas 70.29% dan efisiensi pengeringan 2,427%.

**Kata kunci:** *putaran mesin, penukar panas, ikan, alat pengering.*



## ABSTRACT

**MUARDI.** *The Study of Heat Exchanger as a Fish Dryer Equipment Utilising the Heat of Exhaustive Gas of a Diesel Engine* (supervised by Duma Hasan and Wahyu H. Piarah).

The study aims to investigate the effect of Diesel engine achievement on the effectiveness of cross-flow heat exchanger to be used as an efficient fish dryer.

The study takes the form of an experiment in which the heat exchanger is designed as drying equipment utilising exhaustive gas of a Diesel engine. The construction and the try-out of the heat exchanger as model equipment were carried out in the Central workshop of Hasanuddin University of Makassar.

The 90 minute test with various engine speeds shows that: at a speed of 1600 rpm, the effectiveness of the heat exchanger is 70.09% and drying efficiency is 11.41%; at the speed of 1800 rpm, its effectiveness is 70.12% and the drying efficiency is 3.87%; at a speed of 2000 rpm, its effectiveness is 70.61% and the drying efficiency is 2.394%; at the speed of 2200 rpm, its effectiveness is 70.96% and the drying efficiency is 2.579%, and at the speed of 2400 rpm, its effectiveness is 71.29% and the drying efficiency is 2.427%.

**Keyword:** *engine speed, heat exchanger, fish, dryer.*



## DAFTAR ISI

|   |      |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL .....                     | i    |
| HALAMAN PENGAJUAN .....                 | ii   |
| HALAMAN PENGESAHAN .....                | iii  |
| HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....  | iv   |
| PRAKATA .....                           | v    |
| ABSTRAK .....                           | vii  |
| ABSTRACT .....                          | vii  |
| DAFTAR ISI .....                        | ix   |
| DAFTAR GAMBAR .....                     | xi   |
| DAFTAR LAMPIRAN TABEL .....             | xii  |
| DAFTAR LAMPIRAN GRAFIK .....            | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN GAMBAR .....            | xiv  |
| I. PENDAHULUAN .....                    | 1    |
| A. Latar Belakang .....                 | 1    |
| B. Rumusan Masalah .....                | 3    |
| C. Tujuan Penelitian .....              | 3    |
| D. Manfaat Penelitian .....             | 4    |
| E. Batasan Masalah .....                | 4    |
| II. TINJAUAN PUSTAKA .....              | 6    |
| A. Penukar Kalor (Heat Exchanger) ..... | 6    |
| B. Klasifikasi Heat Exchanger .....     | 6    |
| C. Komposisi Gas Buang .....            | 9    |

|  |    |
|--|----|
| D. Prose Pembakaran Bahan Bakar .....                      | 9  |
| E. Proses Pengeringan .....                                | 10 |
| F. Perhitungan Perpindahan Panas Pada Heat Exchanger ..... | 15 |
| III. METODOLOGI PENELITIAN .....                           | 23 |
| A. Tempat Penelitian .....                                 | 23 |
| B. Metode Pengumpulan Data .....                           | 23 |
| C. Bahan dan Alat Penelitian .....                         | 23 |
| D. Instalasi Pengujian .....                               | 26 |
| E. Prosedur Pengambilan Data .....                         | 27 |
| F. Diagram Alir Penelitian .....                           | 28 |
| IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....                             | 29 |
| A. Analisa Perhitungan .....                               | 29 |
| 1. Perhitungan Pada Penukar Kalor .....                    | 29 |
| 2. Perhitungan Proses Pengering .....                      | 36 |
| B. Pembahasan .....  | 38 |
| 1. Pemakaian Bahan Bakar dan Kalor Bahan Bakar .....       | 38 |
| 2. Laju Aliran Massa dan Efektifitas Heat Exchanger .....  | 39 |
| 3. Kalor Penguapan dan Efisiensi Pengeringan .....         | 39 |
| 4. Kadar Air Kering .....                                  | 40 |
| V. KESIMPULAN DAN SARAN .....                              | 41 |
| A. Kesimpulan .....  | 41 |
| B. Saran .....   | 42 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                       | 43 |
| LAMPIRAN-LAMPIRAN  |    |

**DAFTAR GAMBAR**

|   | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 3.1. Mesin Diesel .....  | 25      |
| Gambar 3.2. Instalasi Pengujian .....   | 26      |
| Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian .....                                     | 28      |
| Gambar 4.1. Proses Perpindahan Panas pada Pipa dan<br>Tahanan Termalnya ..... | 30      |

**DAFTAR LAMPIRAN TABEL**

|  | Halaman |
|--|---------|
| Tabel 1 Pengambilan data pada putaran mesin 1600 rpm   | 45      |
| Tabel 2 Pengambilan data pada putaran mesin 1800 rpm   | 46      |
| Tabel 3 Pengambilan data pada putaran mesin 2000 rpm   | 47      |
| Tabel 4 Pengambilan data pada putaran mesin 2200 rpm   | 48      |
| Tabel 5 Pengambilan data pada putaran mesin 2400 rpm   | 49      |
| Tabel 6 Hasil perhitungan pada putaran mesin 1600 rpm  | 50      |
| Tabel 7 Hasil perhitungan pada putaran mesin 1800 rpm  | 51      |
| Tabel 8 Hasil perhitungan pada putaran mesin 2000 rpm  | 52      |
| Tabel 9 Hasil perhitungan pada putaran mesin 2200 rpm  | 53      |
| Tabel 10 Hasil perhitungan pada putaran mesin 2400 rpm | 54      |
| Tabel 11 Hasil perhitungan heat exchanger              | 55      |
| Tabel 12 Sifat-sifat gas CO <sub>2</sub>               | 71      |
| Tabel 13 Sifat-sifat Udara                             | 71      |
| Tabel 14 Sifat-sifat Termodinamika dari Uap Air        | 72      |

**DAFTAR LAMPIRAN GRAFIK**

|   | Halaman |
|---|---------|
| Grafik 1 Konsumsi bahan bakar terhadap putaran        | 56      |
| Grafik 2 Kalor bahan bakar terhadap putaran           | 56      |
| Grafik 3 Laju aliran massa gas buang terhadap putaran | 57      |
| Grafik 4 Efektifitas heat exchanger terhadap putaran  | 57      |
| Grafik 6 Kalor penguapan terhadap putaran             | 58      |
| Grafik 5 Efisiensi pengeringan terhadap putaran       | 58      |
| Grafik 7 Kadar air kering terhadap putaran            | 59      |

**DAFTAR LAMPIRAN GAMBAR**

|  | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 1 Pengambilan data berat sampel sebelum dipanaskan pada putaran mesin 1600 rpm  | 60      |
| Gambar 2 Pengambilan data berat sampel sesudah dipanaskan pada putaran mesin 1600 rpm dan sebelum dipanaskan pada putaran mesin 1800 rpm | 61      |
| Gambar 3 Pengambilan data berat sampel sesudah dipanaskan pada putaran mesin 1800 rpm dan sebelum dipanaskan pada putaran mesin 2000 rpm | 62      |
| Gambar 4 Pengambilan data berat sampel sesudah dipanaskan pada putaran mesin 2000 rpm dan sebelum dipanaskan pada putaran mesin 2200 rpm | 63      |
| Gambar 5 Pengambilan data berat sampel sesudah dipanaskan pada putaran mesin 2200 rpm dan sebelum dipanaskan pada putaran mesin 2400 rpm | 64      |
| Gambar 6 Pengambilan data berat sampel sesudah dipanaskan pada putaran mesin 2400 rpm  | 65      |
| Gambar 7 Pengambilan data putaran mesin 1600 rpm dan putaran turbin/kompresor  | 66      |
| Gambar 8 Pengambilan data putaran mesin 1800 rpm dan putaran turbin/kompresor  | 66      |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Gambar 9  | Pengambilan data putaran mesin 2000 rpm dan putaran turbin/kompresor   | 67 |
| Gambar 10 | Pengambilan data putaran mesin 2200 rpm dan putaran turbin/kompresor   | 67 |
| Gambar 11 | Pengambilan data putaran mesin 2400 rpm dan putaran turbin/kompresor   | 68 |
| Gambar 12 | Pengambilan data kecepatan gas buang keluar heat exchanger dan kecepatan udara keluar alat pengering pada putaran mesin 1600 rpm | 68 |
| Gambar 13 | Pengambilan data kecepatan gas buang keluar heat exchanger dan kecepatan udara keluar alat pengering pada putaran mesin 1800 rpm | 69 |
| Gambar 15 | Pengambilan data kecepatan gas buang keluar heat exchanger dan kecepatan udara keluar alat pengering pada putaran mesin 2000 rpm | 69 |
| Gambar 16 | Pengambilan data kecepatan gas buang keluar heat exchanger dan kecepatan udara keluar alat pengering pada putaran mesin 2200 rpm | 70 |
| Gambar 16 | Pengambilan data kecepatan gas buang keluar heat exchanger dan kecepatan udara keluar alat pengering pada putaran mesin 2400 rpm | 70 |
| Gambar 14 | Diagram psikrometrik   | 73 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Berdasarkan Hukum Thermodinamika bahwa Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan tetapi energy dapat diubah kedalam bentuk energi yang lain misalnya energi kimia yang ada di dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dan energi panas itu diubah menjadi energi mekanis pada mesin kalor.

Pemanfaatan energi bahan bakar pada mesin selalu diupayakan agar berdaya guna tinggi, sebab energi yang dapat digunakan oleh mesin Diesel sebagai penggerak hanya sepertiga dari hasil pembakaran bahan bakar didalam silinder. Selebihnya energi bahan bakar tersebut terbuang melalui dinding silinder, gas buang, minyak pelumas dan air pendingin.

Gas buang yang keluar melalui saluran gas buang mempunyai temperatur yang cukup tinggi, energi tersebut cukup potensial digunakan sebagai sumber energi panas untuk memanaskan udara dengan menggunakan *Heat Exchanger*, sehingga udara panas yang keluar dari *Heat Exchanger* dapat diaplikasikan sebagai pengering antara lain : ikan, daging, buah-buahan serta dapat diaplikasikan sebagai pemanas ruangan.

Berbagai penelitian yang berhubungan dengan alat pengering telah dilakukan diantaranya:

**Ihsan Nurhabibi** : melakukan penelitian pemanfaatan energi arang batok kelapa untuk pengeringan kakao pada alat pengering type rak dari hasil penelitian bahwa untuk mengeringkan kakao yang telah difermentasi dengan kadar air 54% mencapai kadar air 7% dibutuhkan waktu pengeringan selama 7 jam, energy yang dihasilkan arang batok kelapa rata-rata 26,73 kJ/jam

**Achmad Hasan**: melakukan penelitian pemanfaatan langsung sumber energi panas bumi untuk pengering kakao dari hasil penelitian untuk mengeringkan 100 kg kakao dibutuhkan waktu selama 24 jam.

**Ismail Thamrin**: melakukan penelitian rancang bangun alat pengering ubi kayu type rak dengan memanfaatkan energy surya, dari hasil penelitian bahwa efisiensi alat 61,47% untuk menurunkan kadar air ubi kayu dari 38% menjadi  $\pm 14\%$

**Ekadewi A. Handoyo, dkk** : melakukan penelitian desai dan pengujian system pengering ikan bertenaga surya dari hasil penelitian untuk menurunkan kadar air ikan dari 60 % menjadi 38 % dibutuhkan waktu 6 jam.

Alat pengering banyak digunakan para nelayan tradisional untuk mengeringkan hasil tangkapannya. Alternatif ini dilakukan karena biasanya mereka melaut selama beberapa minggu bahkan berbulan-bulan.

Pada prinsipnya alat pengering surya dapat dimanfaatkan pada kapal-kapal nelayan untuk mengawetkan hasil tangkapannya. Solusi lain yang akan diupayakan adalah pengering ikan dengan memanfaatkan energi panas gas buang mesin yang digunakan sebagai penggerak kapal nelayan.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka perlu dilakukan suatu penelitian dengan judul ***“Analisis Heat Exchanger Sebagai Alat Pengering Ikan dengan Memanfaatkan Panas Gas Buang Mesin Diesel”*** .

## **B. Rumusan masalah**

Berdasarkan uraian pada latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan yaitu :

Bagaimana pengaruh prestasi mesin Diesel terhadap efektivitas heat exchanger aliran silang (*Cross Flow*) dengan memanfaatkan panas gas buang mesin Diesel.dan efisiensi pengeringan.

## **C. Tujuan Penelitian**

Sesuai dengan permasalahan yang di rumuskan maka tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah: Mengetahui pengaruh prestasi mesin Diesel terhadap efektivitas heat exchanger aliran silang (*Cross Flow*) dengan memanfaatkan panas gas buang mesin Diesel dan efisiensi pengeringan

#### **D. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan hasil ataupun informasi bagi kalangan Peneliti mengenai *heat exchanger* tipe aliran silang (*Cross Flow*), sebagai acuan untuk mengembangkan penelitian pada bidang alat penukar kalor dan Motor Bakar.
2. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan oleh masyarakat dan pemerintah dalam meningkatkan pendayagunaan energi panas yang terbuang dari hasil proses pembakaran bahan bakar.

#### **E. Batasan Masalah**

Mengingat banyaknya permasalahan yang dapat diteliti pada pengaruh prestasi mesin terhadap *heat exchanger* dengan memanfaatkan panas gas buang mesin Diesel, maka penelitian dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

1. Mesin yang digunakan adalah mesin Diesel empat langkah dengan jumlah silinder satu
2. Menghitung seberapa besar perpindahan panas yang terjadi didalam kotak *heat exchanger*.
3. Penelitian dilakukan dengan variasi putaran mesin yaitu pada putaran 1600, 1800, 2000, 2200 dan 2400 rpm guna mengetahui efektivitas dari *heat exchanger*.

4. Obyek yang dijadikan sampel dalam penelitian ini adalah menurunkan kadar air dari ikan bandeng.
5. Sampel yang digunakan pada setiap putaran adalah sama.
6. Pengambilan data dilakukan secara eksperimental di laboratorium
7. Perhitungan dilakukan pada heat exchanger dan pengering

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Penukar Kalor (*Heat Exchanger*)**

Penukar kalor adalah suatu alat yang menghasilkan perpindahan panas dari suatu fluida ke fluida lain. Jenis penukar kalor sederhana ialah sebuah wadah dimana fluida panas dan fluida dingin dicampur secara langsung.

Jenis lain yang banyak digunakan adalah penukar kalor dimana fluida panas dan fluida dingin dipisahkan oleh suatu dinding atau sekat, jenis penukar kalor ini disebut rekuperator. Alat ini terdapat dalam beberapa bentuk diantaranya rangkaian pipa atau plat tipis.

Fluida panas yang mengalir di luar dinding pipa akan memindahkan energi panasnya pada fluida dingin didalam pipa *Heat Exchanger* (HE) melalui tiga metode yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

Perpindahan panas terjadi akibat adanya perbedaan temperatur pada satu atau dua media. Perpindahan panas di analisa dengan menggunakan Hukum kekekalan energi, maka analisa perpindahan panas dapat dilakukan dengan menggunakan kontrol *volume* yang dilewati oleh energi.

#### **B. Klasifikasi *Heat Exchanger***

*Heat Exchanger* dirancang serta dibuat dalam berbagai keperluan, ukuran, tipe, bentuk dan pengaturan aliran. Adapun klasifikasi dari *Heat Exchanger* tersebut antara lain :

## 1. Klasifikasi berdasarkan proses perpindahan kalor

Berdasarkan proses perpindahan kalor yang berlangsung maka *Heat Exchanger* dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Heat Exchanger secara langsung, yaitu *Heat Exchanger* yang dirancang dimana fluida panas maupun fluida dingin berhubungan secara langsung tanpa adanya sekat yang didesain secara khusus untuk keperluan-keperluan aplikasi tertentu.
- b. Heat Exchanger yang tidak langsung, yaitu *Heat Exchanger* yang dirancang dimana fluida panas tidak berhubungan langsung (*Undirect Contact*) dengan fluida dingin. Kedua fluida dipisahkan oleh suatu wadah berupa dinding rata sederhana atau juga merupakan konfigurasi rumit yang melibatkan lintasan-lintasan rangkap, sirip/fin, *Heat Exchanger* jenis ini biasanya disebut dengan *Recuperator*.

## 2. Klasifikasi berdasarkan konstruksi

Berdasarkan konstruksinya *Heat Exchanger* dapat dibagi :

### a. Saluran Pengubah Panas (*Tubular Heat Exchanger*)

Bagian utama *Heat Exchanger* ini adalah rangkaian pipa, selongsong, bagian depan dan bagian belakang serta. sekat-sekat yang digunakan untuk mendukung pipa sehingga fluida mengalir dengan normal ke pipa-pipa.

**b. Heat Exchanger Tipe Plat (*Plate Heat Exchanger*)**

*Heat Exchanger* tipe plat, biasanya terbuat dari logam tipis dengan permukaan rata yang tersusun atas beberapa plat dengan jarak tertentu sebagai lintasan aliran fluida.

**c. Heat Exchanger Tipe Plat Sirip.**

Tipe Plat sirip umum digunakan pada *Heat Exchanger* gas ke gas, dengan tekanan tidak lebih dari 10 atmosfer (1000 kPa). Temperatur operasi maksimumnya berkisar 800°C.

**d. Heat Exchanger Tipe Pipa Sirip (*Tube Fin Heat Exchanger*).**

Untuk Pengoperasian tekanan tinggi digunakan tipe pipa sirip. Pipa sirip pada alat *Heat Exchanger* digunakan pada Turbin gas, Nuklir, bahan bakar, automobil, pesawat udara, kulkas dan lain-lain.

**3. Klasifikasi berdasarkan aliran fluida**

Berdasarkan aliran fluida panas dan fluida dingin *Heat Exchanger* dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Aliran Searah (*Pararel Flow*)
- b. Aliran Berlawanan (*Counter Flow*)
- c. Aliran Silang (*Cross Flow*).
- d. Penggabungan beberapa aliran ( *Multi Flow* )

**4. Klasifikasi berdasarkan mekanisme perpindahan kalor**

Mekanisme perpindahan panas dapat menyangkut kombinasi dari keadaan berikut di bawah ini:

1. Konveksi paksa atau bebas satu fase (*Single-phase forced or free convection*).
2. Perubahan fase ( pendidihan atau kondensasi).
3. Radiasi atau penggabungan Konveksi dan radiasi.

### C. Komposisi Gas Buang

Gas buang mesin diesel secara umum mengandung beberapa unsur antara lain karbon dioksida, uap air (H<sub>2</sub>O) dan nitrogen, serta memiliki perbandingan sebagai berikut :

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| Carbon Dioksida ( CO <sub>2</sub> ) | 12,61 % |
| Uap Air (H <sub>2</sub> O)          | 13,87 % |
| Nitrogen (N <sub>2</sub> )          | 73,52 % |

Berdasarkan data di atas, maka dapat ditentukan massa jenis gas buang  $\rho_{\text{gas}}$  (kg/m<sup>3</sup>) dan panas, jenis gas buang Cp (kJ/kg.<sup>0</sup>C)

### D. Proses Pembakaran Bahan Bakar

Proses pembakaran yang baik adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar, hal ini dapat terjadi bila didukung dengan pengontrolan variabel penunjang pembakaran yaitu :

1. Turbulensi atau pencampuran oksigen dan bahan bakar yang baik.
2. Temperatur yang cukup tinggi untuk proses penyalaan dan menjaga agar pembakaran tetap konstan dan berlanjut.
3. Waktu yang cukup untuk proses pembakaran.

## **E. Proses Pengeringan**

Ikan merupakan bahan makanan yang banyak dikonsumsi masyarakat selain sebagai komoditi ekspor. Ikan cepat mengalami proses pembusukan dibandingkan dengan bahan makanan lain. Bakteri dan perubahan kimiawi pada ikan mati menyebabkan pembusukan. Mutu olahan ikan sangat tergantung pada mutu bahan mentahnya.

Tanda ikan yang sudah busuk:

- a. Mata suram dan tenggelam
- b. Sisik suram dan mudah lepas
- c. Warna kulit suram dengan lendir tebal
- d. Insang berwarna kelabu dengan lendir tebal
- e. Dinding perut lembek
- f. Warna keseluruhan suram dan berbau busuk

Tanda ikan yang masih segar:

- a. Daging kenyal
- b. Mata jernih menonjol
- c. Sisik kuat dan mengkilat
- d. Sirip kuat
- e. Warna keseluruhan termasuk kulit cemerlang
- f. Insang berwarna merah
- g. Dinding perut kuat
- h. Bau ikan segar

Ikan merupakan salah satu sumber protein hewani yang banyak dikonsumsi masyarakat, mudah didapat, dan harganya murah. Namun ikan cepat mengalami proses pembusukan. Oleh sebab itu pengawetan ikan perlu diketahui semua lapisan masyarakat. Pengawetan ikan secara tradisional bertujuan untuk mengurangi kadar air dalam tubuh ikan, sehingga tidak memberikan kesempatan bagi bakteri untuk berkembang biak. Untuk mendapatkan hasil awetan yang bermutu tinggi diperlukan perlakuan yang baik selama proses pengawetan seperti: menjaga kebersihan bahan dan alat yang digunakan, menggunakan ikan yang masih segar, serta garam yang bersih. Ada bermacam-macam pengawetan ikan, antara lain dengan cara: penggaraman, pengeringan, pemindangan, perasapan, peragian, dan pendinginan ikan.

Tabel Komposisi Ikan Segar per 100 gram Bahan

| <b>KOMPONEN</b>     | <b>KADAR (%)</b> |
|---------------------|------------------|
| Kandungan Air       | 76,00            |
| Protein             | 17,00            |
| Lemak               | 4,50             |
| Mineral dan vitamin | 2,52-4,50        |

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa ikan mempunyai nilai protein tinggi, dan kandungan lemaknya rendah sehingga banyak memberikan manfaat kesehatan bagi tubuh manusia.

Menurut Hadiwiyoto (1993) ikan segar mempunyai kadar air sekitar 50 % - 80 % yang merupakan komponen penyusun terbesar, kemudian disusul protein dan lemak

Pengeringan ikan bertujuan untuk mengurangi kadar air yang ada didalam daging ikan sampai kegiatan mikroorganisme pembusuk serta enzim yang menyebabkan pembusukan terhenti. Akibatnya ikan dapat disimpan cukup lama sebagai bahan makanan. Pengeringan ikan ini umumnya disertai dengan penggaraman sehingga ikan kering itu terasa asin. Maksud penggaraman sebelum ikan dikeringkan yaitu untuk menyerap kadar air dari permukaan ikan dan mengawetkannya sebelum tercapai tingkat kekeringan serta dapat menghambat aktivitas mikroorganisme selama proses pengeringan berlangsung.

Batas kadar air yang diperlukan dalam tubuh ikan kira kira 20 – 35 % agar perkembangan mikroorganisme pembusuk bisa terhenti.

Secara umum tujuan pengeringan ikan ialah:

1. Untuk mengawetkan ikan dengan cara menurunkan kadar air didalamnya.
2. Untuk mengurangi volume dan berat ikan yang ditangani sehingga biaya pengangkutan dan penyimpanan menurun.
3. Untuk meningkatkan kenyamanan dalam penggunaan (pada beberapa jenis produk tertentu pengeringan dikombinasi dengan instanisasi).

Untuk memperoleh kualitas pengeringan yang bagus, ada beberapa parameter yang harus dikontrol selama proses pengeringan, yaitu kecepatan aliran udara, temperatur udara pengering dan kelembaban relatif udara.

### 1. Kecepatan Aliran Udara

Kecepatan aliran udara yang tinggi dapat mempersingkat waktu pengeringan. Kecepatan aliran udara yang disarankan untuk melakukan proses pengeringan antara 1,5–2,0 m/s.

Disamping kecepatan, arah aliran udara juga memegang peranan penting dalam proses pengeringan. Arah aliran udara pengering yang sejajar dengan produk lebih efektif dibandingkan dengan aliran udara yang datang dalam arah tegak lurus produk.

### 2. Temperatur Udara

Secara umum, temperatur udara yang tinggi akan menghasilkan proses pengeringan yang lebih cepat. Namun temperatur pengeringan yang lebih tinggi dari 50°C harus dihindari karena dapat menyebabkan bagian luar produk sudah kering, tapi bagian dalam masih basah. Khusus untuk ikan, temperatur pengeringan yang dianjurkan antara 40–50 °C.

### 3. Kelembaban Relatif, RH

Pengeringan umumnya dilakukan pada kelembaban relatif yang rendah. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kecepatan difusi air. Kelembaban relatif yang rendah di dalam ruang pengering dapat terjadi jika udara pengering bersirkulasi dengan baik dari dalam ke luar ruang pengering, sehingga semua uap air yang diperoleh setelah kontak dengan produk langsung dibuang ke udara lingkungan.

Lama waktu pengeringan tergantung pada banyak faktor, antara lain ukuran dan ketebalan ikan, temperatur pengering, kelembaban relatif udara, kecepatan udara pengering dan total beban pengeringan.

Pada proses pengeringan terjadi dua proses, yaitu:

1. Proses perpindahan panas, yaitu suatu proses yang terjadi karena perbedaan temperatur, panas yang dialirkan akan meningkatkan suhu bahan sehingga tekanan uap air didalam bahan lebih tinggi dari tekanan uap air di udara.
2. Proses perpindahan massa, yaitu suatu proses yang terjadi karena kelembaban relatif udara pengering lebih rendah dari kelembaban relatif bahan.

Kadar air ikan dapat ditentukan berdasarkan bobot basah dan bobot kering. Kedua cara ini memungkinkan untuk menghitung kadar air dalam proses pengeringan.

Adapun prosentase kadar air basis basah dirumuskan sebagai berikut:

$$m_b = \frac{W_b}{W_k} \times 100 \% \quad (2.1)$$

Adapun prosentase kadar air basis kering dirumuskan sebagai berikut :

$$m_b = \frac{W_b}{(W_b + W_k)} \times 100 \% \quad (2.2)$$

dimana :

$W_b$  = Massa air dalam bahan (kg)

$W_b$  = Massa padatan (kg)

Jumlah air yang menguap

$$m_{air} = m_{aw} - m_{ak} \quad (2.3)$$

dimana :

$m_{aw}$  = berat bahan awal/basah (kg)

$m_{ak}$  = berat bahan akhir/kering (kg)

Dan energi yang digunakan untuk menguapkan air dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{evap} = m_{air} \times h_{fg} \quad (2.4)$$

dimana:

$m_{air}$  = Massa air yang menguap ( kg )

$h_{fg}$  = Entalpi penguapan pada temperatur rata-rata (kJ/kg)

Energi yang diabsorb udara dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q_{udara} = m_u \times C_p ( T_{uin} - T_{uout} ) \quad (2.5)$$

Efisiensi pengeringan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\eta_{pengeringan} = \frac{Q_{evap}}{Q_{Udara}} \times 100 \% \quad (2.6)$$

## F. Perhitungan Perpindahan Panas pada Heat Exchanger

### 1. Perpindahan panas konduksi

Jika pada suatu benda terdapat gradien suhu (*temperature gradient*), maka akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah di dalam suatu medium (padat, cair, dan gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung.

Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Menurut teori kinetik, suhu elemen suatu zat sebanding dengan energi kinetik rata-rata molekul-molekul yang membentuk elemen itu. Konduksi adalah satu-satunya mekanisme dimana panas dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya.

Berdasarkan hukum kedua termodinamika panas akan mengalir secara otomatis dari titik yang bersuhu lebih tinggi ke titik yang bersuhu lebih rendah, maka aliran panas akan menjadi positif bila gradien suhu negatif.

Persamaan dasar konduksi satu dimensi dalam keadaan steady adalah

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.7)$$

dimana :

$q_k$  = laju aliran panas konduksi ( Watt)

$k$  = konduktifitas termal bahan (W/m K)

$A$  = luas penampang yang tegak lurus terhadap arah aliran panas ( $m^2$ )

$dT$  = gradien suhu pada penampang (K)

$dx$  = jarak dalam arah aliran panas (m)

## 2. Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur, konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat, cairan dan gas (Frank Kreiht 1991).

Perpindahan energi dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya diatas suhu fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap, pertama panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida ini.

Perpindahan panas konveksi diklasifikasikan dalam konveksi bebas (free convection) dan konveksi paksa (forced convection). Jika gerakan fluida berlangsung semata-mata sebagai akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh gradien suhu maka prosesnya disebut konveksi bebas. Dan jika gerakan fluida itu disebabkan oleh suatu alat dari luar seperti pompa atau kipas maka prosesnya disebut konveksi paksa (Frank Kreiht 1991).

$$q = h (T_w - T_f) \quad (2.8)$$

Dan perpindahan panas konveksi dari fluida panas ke dinding dingin dapat ditulis sebagai berikut :

$$q = h \cdot A \cdot (T_f - T_w) \quad (2.9)$$

dimana :

$q$  = laju aliran panas konveksi (Watt)

$A$  = luas penampang yang tegak lurus terhadap arah aliran panas ( $m^2$ )

$h$  = koefisien perpindahan panas konveksi ( $W/m^2 K$ )

$T_w$  = temperatur permukaan (K)

$T_f$  = temperatur fluida dingin (K)

### 3. Perpindahan panas radiasi

Radiasi adalah proses dimana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisahkan di dalam ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa diantara benda-benda tersebut.

Semua benda memancarkan panas radiasi secara terus-menerus. Intensitas pancaran tergantung pada suhu dan sifat permukaan. Energi radiasi bergerak dengan kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s) dan gejala-gejalanya menyerupai radiasi cahaya. Menurut teori elektromagnetik, radiasi cahaya dan radiasi termal hanya berbeda dalam panjang gelombang masing-masing.

Hukum Stefan-Boltzmann yang fundamental menyatakan

$$q = \sigma A T^4 \quad (2.10)$$

dimana :

$A$  = Luas permukaan ( $m^2$ )

$\sigma$  = konstanta Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$ )

$T$  = Suhu absolut (K)

#### 4. Koefisien perpindahan panas menyeluruh

Koefisien perpindahan panas menyeluruh yang terjadi pada, sebuah pipa kuningan *Heat Exchanger* dapat dihitung dengan metode membagi beda suhu menyeluruh atau total dengan jumlah besarnya tahanan thermal pada pipa kuningan yang terjadi, dimana aliran panas menyeluruh sebagai basil gabungan proses konduksi dan konveksi bisa dinyatakan dengan koefisien perpindahan panas menyeluruh.

Koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat dirumuskan dalam suatu hubungan persamaan:

$$U_{Total} = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

Atau

$$U_{Total} = U_o = \frac{1}{\left(\frac{r_o}{r_i}\right) \left(\frac{1}{h_i}\right) + \frac{r_o}{k} \ln \left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \left(\frac{1}{h_o}\right)}$$

Jika jari-jari (r) dinyatakan dalam diameter pipa (d), dimana  $r = d/2$ , maka persamaan diatas menjadi : (J.P. Holman Hal. 482 )

$$U_{Total} = \frac{1}{\left(\frac{d_o}{d_i}\right) \left(\frac{1}{h_i}\right) + \frac{d_o}{2.k} \ln \left(\frac{d_o}{d_i}\right) + \left(\frac{1}{h_o}\right)} \quad (2.11)$$

#### 5. Logaritmic Mean Temperture Difference ( LMTD ).

Akibat dari perbedaan temperatur fluida yang mengalir dalam suatu *Heat Exchanger* pada setiap panjang lintasannya menyebabkan analisa perpindahan panas menjadi sangat kompleks. Untuk itu

dibutuhkan sebuah metode dalam menyelesaikan masalah ini, yang biasa kita sebut sebagai Metode *Logaritmic Mean Temperature Difference (LMTD)*. Evaluasi Perbedaan temperatur rata-rata pada sebuah *Heat Exchanger*, dengan bentuk aliran silang.

$$LMTD = \frac{(\Delta T_1) - (\Delta T_2)}{\ln(\Delta T_1)/(\Delta T_2)} \quad (2.12)$$

## 6. Perpindahan panas

Perpindahan panas terjadi pada saat fluida dingin maupun fluida panas mengalir didalam *Heat Exchanger* . Pada *Heat Exchanger* temperatur fluida dingin dan fluida panas pada saat masuk maupun keluar tidak sama.

Dengan asumsi bahwa nilai kapasitas panas spesifik ( $C_p$ ) fluida dingin dan panas adalah konstan, tidak ada kehilangan kalor ke lingkungan serta keadaan *steady* , maka kalor yang dipindahkan : (J.P. Holman Hal. 490 )

$$Q_{\text{gas}} = U_{\text{Total}} \cdot A \cdot LMTD \quad (2.13)$$

## 7. Metode Analisa Efektivitas – NTU

Pendekatan LMTD dalam analisa *Heat Exchanger* berguna bila temperatur masuk dan temperatur keluar diketahui, sehingga LMTD dapat dengan mudah dihitung, dan aliran kalor, luas permukaan, dan koefisien perpmindahan panas menyeluruh dapat ditentukan. Jika dalam perencanaan suhu masuk dan suhu keluar tidak diketahui maka analisa kita akan melibatkan prosedur iterasi karena LMTD itu hanyalah merupakan suatu fungsi logaritma.

Dalam hal demikian, analisa akan lebih mudah dilaksanakan dengan menggunakan metode yang berdasarkan analisa efektivitas *Heat Exchanger* dalam memindahkan sejumlah kalor tertentu. Metode efektivitas ini juga memiliki beberapa keuntungan untuk menganalisa soal-soal dimana kita harus membandingkan berbagai jenis *Heat Exchanger* guna memilih jenis yang terbaik dalam proses perpindahan panas.

Efektivitas *Heat Exchanger* didefinisikan sebagai berikut : (J.P. Holman Hal. 498 )

$$\epsilon = \frac{\text{Perpindahan kalor nyata}}{\text{Perpindahan kalor maksimum yang terjadi}} \quad (2.14)$$

Untuk menghitung efektivitas Heat Exchanger aliran cross flow dinyatakan dengan persamaan : (J.P. Holman Hal. 507)

$$\epsilon = 1 - \exp \left[ \frac{\exp(-NTU \times C \times (NTU)^{-0,22} - 1)}{C \times (NTU)^{-0,22}} \right] \quad (2.15)$$

$$NTU = \frac{U.A}{C_{min}} \quad (2.16)$$

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (2.17)$$

$$C_{min} = CP_{udara} \cdot \dot{m}_{udara} \quad (2.18)$$

$$C_{max} = CP_{gas buang} \cdot \dot{m}_{gas buang}$$

### 8. Energi panas yang dilepaskan oleh gas buang

Gas buang yang dihasilkan pada proses pembakaran motor Diesel masih memiliki energi panas yang bisa dimanfaatkan. Besarnya energi yang dilepaskan oleh gas buang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q_{gas\ buang} = \dot{m}_{gas\ buang} \cdot C_{p_{gas\ buang}} \cdot \Delta T_{gas\ buang} \quad (2.19)$$

laju aliran massa gas buang yang masuk pada *Heat Exchanger*

dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\dot{m}_{gas\ buang} = \rho_{gas\ buang} \cdot A \cdot u_g \quad (2.20)$$

Dimana :  $A$  = luas penampang pipa yang dialiri gas buang

$u_g$  = kecepatan gas buang

$\rho_{gb}$  = massa jenis gas buang