

## DAFTAR ISI

|                                |             |
|--------------------------------|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b>           | <b>i</b>    |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b>      | <b>ii</b>   |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN</b>      | <b>iii</b>  |
| <b>NASKAH SOAL TUGAS AKHIR</b> | <b>iv</b>   |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b>     | <b>v</b>    |
| <b>KATA PENGANTAR</b>          | <b>vi</b>   |
| <b>DAFTAR ISI</b>              | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b>           | <b>xii</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL</b>            | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b>         | <b>xiv</b>  |
| <b>DAFTAR NOTASI</b>           | <b>xvii</b> |
| <b>INTISARI</b>                | <b>xix</b>  |

## **BAB I PENDAHULUAN**

|                            |   |
|----------------------------|---|
| 1.1. Latar Belakang        | 1 |
| 1.2. Perumusan Masalah     | 2 |
| 1.3. Batasan Masalah       | 3 |
| 1.4. Tujuan Perancangan    | 3 |
| 1.5. Sistematika Penulisan | 4 |
| 1.6. Manfaat Perancangan   | 5 |

## **BAB II DASAR TEORI**

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 Sistem Pengangkutan Abu Batubara (Ash Conveying System)            | 6  |
| 2.1.1 Jenis Sistem Pengangkutan Batubara                               | 6  |
| 2.1.2 Sistem Pengangkutan Abu Batubara<br>(Bottom Ash) Secara Hidrolik | 9  |
| 2.1.2.1 Prinsip Umum Water-Ash Jet Pump                                | 10 |
| 2.1.2.2 Water Jet Ejector                                              | 12 |
| 2.1.2.3 Ash Hopper                                                     | 13 |

|         |                                                              |    |
|---------|--------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.2.4 | Pipeline                                                     | 13 |
| 2.2     | Sifat Mekanis Bottom Ash dan Air Laut                        | 14 |
| 2.3     | Solid-Liquid Flow                                            | 16 |
| 2.3.1   | Terminal Velocity of Flow dan Particle Reynold Number        | 16 |
| 2.3.2   | Massa Jenis Campuran                                         | 19 |
| 2.3.3   | Head Loss Aliran Sepanjang Pipa                              | 20 |
| 2.3.3.1 | Head Loss Mayor                                              | 20 |
| 2.3.3.2 | Head Loss Minor                                              | 22 |
| 2.4     | Parameter dan Perumusan dalam Perancangan Water-Ash Jet Pump | 22 |
| 2.4.1   | Parameter Perancangan Water-Ash Jet Pump System              | 24 |
| 2.4.1.1 | Area Ratio ( $a$ , $b$ , dan $c$ )                           | 24 |
| 2.4.1.2 | Density Ratio ( $S$ )                                        | 25 |
| 2.4.1.3 | Volumetric Concentration ( $C_v(\%)$ )                       | 25 |
| 2.4.1.4 | Flow Ratio ( $M$ )                                           | 25 |
| 2.4.1.5 | Pressure Ratio ( $N$ )                                       | 26 |
| 2.4.1.6 | Jet Nozzle Speed ( $Z$ )                                     | 26 |
| 2.4.1.7 | Jet Pump Efficiency ( $\eta$ )                               | 27 |
| 2.4.2   | Perumusan Perancangan Water-Ash Jet Pump                     | 27 |
| 2.4.2.1 | Nozzle                                                       | 27 |
| 2.4.2.2 | Throat Entry                                                 | 28 |
| 2.4.2.3 | Mixing Throat                                                | 31 |
| 2.4.2.4 | Diffuser                                                     | 36 |
| 2.4.2.5 | Perpipaan                                                    | 38 |
| 2.4.2.6 | Pressure Ratio ( $N$ )                                       | 40 |
| 2.5     | Pemilihan Pompa Sentrifugal                                  | 43 |
| 2.5.1   | Head Total Pompa                                             | 44 |
| 2.5.2   | Menentukan Jumlah Tingkat Pompa Sentrifugal                  | 44 |
| 2.5.3   | Menentukan Kecepatan Spesifik Pompa                          | 45 |
| 2.5.4   | Menentukan daya yang dibutuhkan pompa                        | 45 |
| 2.5.5   | Kavitasi                                                     | 46 |
| 2.5.6   | NPSH (Net Positive Suction Head)                             | 47 |

|       |                      |    |
|-------|----------------------|----|
| 2.5.7 | NPSH yang dibutuhkan | 47 |
| 2.5.8 | NPSH yang tersedia   | 48 |

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

|       |                                                                   |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1   | Langkah Penyusunan Tugas Akhir                                    | 49 |
| 3.1.1 | Studi Kasus                                                       | 49 |
| 3.1.2 | Studi Kepustakaan                                                 | 49 |
| 3.1.3 | Pengambilan Data Lapangan                                         | 49 |
| 3.1.4 | Perancangan Sistem Water-Ash Jet Pump                             | 49 |
| 3.1.5 | Perhitungan dan Analisa Performa Ejector<br>serta Pemilihan Pompa | 50 |
| 3.2   | Langkah-langkah Pemilihan Geometri Ejector dan Pompa              | 50 |
| 3.3   | Flowchart                                                         | 52 |
| 3.3.1 | Flowchart Pemilihan Ejector                                       | 52 |
| 3.3.2 | Flowchart Pemilihan Pompa                                         | 53 |

### **BAB IV PERANCANGAN DAN ANALISA**

|       |                                                                                         |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1   | Data Input dan Ketentuan/Batasan Perancangan                                            | 54 |
| 4.1.1 | Skema Umum Rancangan Instalasi Water-Ash Jet Pump                                       | 55 |
| 4.1.2 | Bottom Ash dan Air Laut                                                                 | 55 |
| 4.1.3 | Ash Hopper dan Ash Silo                                                                 | 56 |
| 4.1.4 | Pipa Discharge Sistem                                                                   | 59 |
| 4.1.5 | Pipa Discharge Pompa                                                                    | 60 |
| 4.2   | Menentukan Variasi Flow Ratio (M) dan Konsentrasi<br>Volumetrik (Cv) yang dapat diambil | 60 |
| 4.3   | Analisa Performa Ejector dan Pemilihan Pompa                                            | 63 |
| 4.3.1 | Analisa dan Pemilihan Geometri Ejector                                                  | 64 |
| 4.3.2 | Pemilihan Pompa Sentrifugal berdasarkan<br>Efisiensi Optimum                            | 72 |

## **BAB V PENUTUP**

|     |            |    |
|-----|------------|----|
| 5.1 | Kesimpulan | 86 |
| 5.2 | Saran      | 87 |

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> | <b>88</b> |
|-----------------------|-----------|

## **LAMPIRAN A**

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| (Tabel Perhitungan dan Grafik Performa Tiap Konfigurasi<br>Geometri Ejector) | 89 |
|------------------------------------------------------------------------------|----|

## **LAMPIRAN B**

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| (Moody Diagram dan Koefisien Losses) | 144 |
|--------------------------------------|-----|

## **LAMPIRAN C**

|                      |     |
|----------------------|-----|
| (Gambar Perancangan) | 151 |
|----------------------|-----|

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Grafik perbandingan sistem pengangkutan hidrolik dengan sistem pengangkutan pneumatic | 8  |
| Gambar 2.2 Instalasi pompa jet                                                                   | 10 |
| Gambar 2.3 Ash hopper ejector                                                                    | 11 |
| Gambar 2.4 Elemen dan terminologi water ejector                                                  | 12 |
| Gambar 2.5 Bentuk fisik partikel Bottom Ash                                                      | 14 |
| Gambar 2.6 Temperature – Density – Salinity (TDS) Diagram                                        | 15 |
| Gambar 2.7 Ilustrasi gerak partikel dalam medium fluida tertentu                                 | 16 |
| Gambar 2.8 Gambaran umum sistem water ash jet pump yang direncanakan                             | 23 |
| Gambar 2.9 Volume atur untuk analisa nozzle                                                      | 27 |
| Gambar 2.10 Volume atur throat entry                                                             | 29 |
| Gambar 2.11 Volume atur mixing throat                                                            | 31 |
| Gambar 2.12 Volume atur untuk analisa diffuser                                                   | 36 |
| Gambar 2.13 Volume atur untuk analisa sistem perpipaan                                           | 39 |
| Gambar 4.1 Skema umum instalasi water-ash jet pump                                               | 50 |
| Gambar 4.2 Geometri Ash Hopper                                                                   | 53 |
| Gambar 4.3 pipa discharge pompa                                                                  | 55 |
| Gambar 4.4 Grafik efisiensi (%) = $f(M)$ pada $a = 0,25$ dan $b = 0,25$                          | 61 |
| Gambar 4.5 Grafik efisiensi ( $\eta$ ) = $f(M)$ pada $a = 0,25$                                  | 62 |
| Gambar 4.6 Grafik efisiensi ( $\eta_{max}$ ) = $f(b)$ pada $a = 0,25$                            | 63 |
| Gambar 4.7 Grafik efisiensi maksimum ( $M_{mep}$ , $N_{mep}$ ) = $f(b)$ , $a = 0,25$             | 64 |
| Gambar 4.8 Skema sistem water ash ejector                                                        | 71 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Jenis-jenis material pipa yang umumnya digunakan untuk ash conveying system                                                  | 13 |
| Tabel 4.1 Data kapasitas produksi abu batubara di PLTU paiton                                                                          | 51 |
| Tabel 4.2 Kapasitas material dalam ash hopper                                                                                          | 52 |
| Tabel 4.3 Data panjang tiap segmen pipa, sudut belokan pipa, dan $L_e/D$                                                               | 54 |
| Tabel 4.4 Data hasil perhitungan nilai variasi M untuk $C_v = 1\%$ s.d. $C_v = 36\%$                                                   | 57 |
| Tabel 4.5 Daftar variasi konfigurasi geometri <i>ejector</i> dengan $a = 0,25$ ( $D_2 = 2 \text{ in}$ )                                | 59 |
| Tabel 4.6 Hasil perhitungan performa ejector dengan $a = 0,25$ ( $d_2 = 2 \text{ in}$ ) pada variasi III ( $D_{2n} = 0,5 \text{ in}$ ) | 60 |
| Tabel 4.7 Daftar <i>ejector</i> dengan efisiensi terbaik                                                                               | 65 |
| Tabel 4.8 Hasil Perhitungan efisiensi pompa dalam berbagai tingkat                                                                     | 76 |
| Tabel 4.9 Cadangan daya berdasarkan $P_{sh}$                                                                                           | 77 |
| Tabel 4.10 Tabel frekuensi motor listrik                                                                                               | 79 |

## DAFTAR LAMPIRAN

### LAMPIRAN A

(Tabel Perhitungan dan Grafik Performa Tiap Konfigurasi Geometri Ejektor)

- A.1 Tabel perhitungan  $N$  dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,03125$   
( $D_2 = 0,25$  in)
- A.2 Tabel perhitungan  $N$  dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,0625$   
( $D_2 = 0,5$  in)
- A.3 Tabel perhitungan  $N$  dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,09375$   
( $D_2 = 0,75$  in)
- A.4 Tabel perhitungan  $N$  dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,125$   
( $D_2 = 1$  in)
- A.5 Tabel perhitungan  $N$  dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,15625$   
( $D_2 = 1,25$  in)
- A.6 Tabel perhitungan  $N$  dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,1875$   
( $D_2 = 1,5$  in)
- A.7 Tabel perhitungan  $N$  dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,21875$   
( $D_2 = 1,75$  in)
- A.8 Tabel perhitungan  $N$  dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,25$   
( $D_2 = 2$  in)
- A.9 Tabel perhitungan  $N$  dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,28125$   
( $D_2 = 2,25$  in)
- A.10 Tabel perhitungan  $N$  dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,3125$   
( $D_2 = 2,5$  in)
- A.11 Tabel perhitungan  $N$  dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,34375$   
( $D_2 = 2,75$  in)
- A.12 Tabel perhitungan  $N$  dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,375$   
( $D_2 = 3$  in)
- A.13 Tabel perhitungan  $N$  dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,40625$   
( $D_2 = 3,25$  in)

- A.14 Tabel perhitungan N dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,4375$   
( $D_2 = 3,5$  in)
- A.15 Tabel perhitungan N dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,46875$   
( $D_2 = 3,75$  in)
- A.16 Tabel perhitungan N dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,5$   
( $D_2 = 4$  in)
- A.17 Tabel perhitungan N dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,53125$   
( $D_2 = 4,25$  in)
- A.18 Tabel perhitungan N dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,5625$   
( $D_2 = 4,5$  in)
- A.19 Tabel perhitungan N dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,59375$   
( $D_2 = 4,75$  in)
- A.20 Tabel perhitungan N dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,625$   
( $D_2 = 5$  in)
- A.21 Tabel perhitungan N dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,65625$   
( $D_2 = 5,25$  in)
- A.22 Tabel perhitungan N dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,6875$   
( $D_2 = 5,5$  in)
- A.23 Tabel perhitungan N dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,71875$   
( $D_2 = 5,75$  in)
- A.24 Tabel perhitungan N dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,75$   
( $D_2 = 6$  in)
- A.25 Tabel perhitungan N dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,78125$   
( $D_2 = 6,25$  in)
- A.26 Tabel perhitungan N dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,8125$   
( $D_2 = 6,5$  in)
- A.27 Tabel perhitungan N dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,84375$   
( $D_2 = 6,75$  in)
- A.28 Tabel perhitungan N dan  $\eta$  pada *water-ash ejector* dengan  $a = 0,875$   
( $D_2 = 7$  in)

## LAMPIRAN B

(Moody Diagram dan Koefisien Losses)

- B.1 Diagram Moody untuk menentukan friction factor, dimana  $f = f(Re, e/D)$ .
- B.2 Nilai rekomendasi koefisien loss untuk nozzle, enlargement dan throat.
- B.3 Koefisien loss untuk elbow dan mitre bend.
- B.4 Koefisien loss untuk sudden enlargement dan sudden contraction.
- B.5 Koefisien loss untuk entrance dan exit.
- B.6 Koefisien loss smooth enlargement dan smooth contraction.
- B.7 Koefisien loss untuk pipa dengan beragam material dan diameter.
- B.8 Grafik untuk mencari kecepatan putaran pompa.
- B.9 Grafik efisiensi pompa sebagai fungsi kapasitas dan *specific speed*.
- B.10 Grafik hubungan antara kecepatan spesifik, efisiensi hidrolis serta koefisien kavitasi Thoma.

## LAMPIRAN C

(Gambar Perancangan)

- C.1 Nozzle dan Ejector
- C.2 Conveying System
- C.3 Water-ash Jet Pump

## DAFTAR NOTASI

|             |                                              |
|-------------|----------------------------------------------|
| $a$         | = diffuser area ratio ( $D_3/D_4$ )          |
| $b$         | = nozzle area ratio ( $D_{2n}/D_2$ )         |
| $c$         | = nozzle area ratio ( $D_{2n}/D_1$ )         |
| $C_D$       | = drag coefficient                           |
| $C_v$       | = konsentrasi volumetrik (%)                 |
| $D_1$       | = diameter pipa discharge pompa (m)          |
| $D_2 = D_3$ | = diameter mixing throat (m)                 |
| $D_{2n}$    | = diameter outlet nozzle (m)                 |
| $D_4$       | = diameter outlet diffuser (m)               |
| $D_5$       | = diameter outlet pipa discharge sistem (m)  |
| $f$         | = friction factor                            |
| $F_B$       | = gaya bodi (N)                              |
| $F_{BF}$    | = gaya apung (N)                             |
| $F_D$       | = gaya drag (N)                              |
| $F_S$       | = gaya permukaan (N)                         |
| $g$         | = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )           |
| $h_l$       | = head loss                                  |
| $H$         | = head total pompa                           |
| $I$         | = jumlah tingkat pompa                       |
| $K$         | = koefisien losses                           |
| $M$         | = flow ratio ( $\dot{Q}_{m1}/\dot{Q}_{w2}$ ) |
| $\dot{m}$   | = laju alir masa (kg/jam)                    |
| $N$         | = pressure ratio                             |
| $n$         | = kecepatan putar pompa                      |
| $P$         | = tekanan (Pa)                               |
| $P_{sh}$    | = daya yang dibutuhkan pompa                 |
| $\dot{Q}$   | = laju alir volumetrik ( $m^3/jam$ )         |

Re = Reynolds Number

S = density ratio

S<sub>p</sub> = permukaan spesifik

V<sub>t</sub>=V<sub>cw</sub> = kecepatan terminal dengan pengaruh konsentrasi volumetrik (m/s)

W = gaya berat (N)

z = ketinggian (m)

ρ = massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)

μ = viskositas (Ns/m<sup>2</sup>)

η = efisiensi (%)