

## DAFTAR ISI

|                                                                      |      |
|----------------------------------------------------------------------|------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b>                                                 | i    |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b>                                            | ii   |
| <b>HALAMAN MOTTO</b>                                                 | iii  |
| <b>KATA PENGANTAR</b>                                                | iv   |
| <b>HALAMAN SOAL</b>                                                  | vi   |
| <b>INTISARI</b>                                                      | vii  |
| <b>DAFTAR ISI</b>                                                    | viii |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b>                                                 | xiii |
| <b>DAFTAR TABEL</b>                                                  | xv   |
| <b>DAFTAR NOTASI</b>                                                 | xvi  |
| <br><b>BAB I PENDAHULUAN</b>                                         |      |
| 1.1. Pengenalan Pompa                                                | 1    |
| 1.2. Pemakaian Pompa                                                 | 2    |
| 1.3. Klasifikasi Pompa                                               | 2    |
| 1.3.1. Pompa Perpindahan Positif                                     | 2    |
| 1.3.2. Pompa Dinamik                                                 | 3    |
| <br><b>BAB II TINJAUAN MASALAH</b>                                   |      |
| 2.1. Latar Belakang Masalah                                          | 6    |
| 2.2. Permasalahan                                                    | 6    |
| 2.3. Sifat-sifat Fluida                                              | 8    |
| 2.4. Kapasitas Pemompaan                                             | 8    |
| 2.4.1. Pehitungan Kebutuhan Bahan Bakar Batu<br>Bara Untuk Satu Kiln | 9    |
| 2.4.2. Perhitungan Penggunaan Bahan Bakar<br>Solar                   | 10   |



|                                        |                                                |    |
|----------------------------------------|------------------------------------------------|----|
| 2.5.                                   | Perhitungan Volume Tangki Penampung .....      | 11 |
| 2.6.                                   | Head Total Pompa .....                         | 12 |
| 2.6.1.                                 | Instalasi Pemompaan .....                      | 12 |
| 2.6.2.                                 | Perhitungan Head Total Pompa .....             | 12 |
| 2.7.                                   | Pemilihan Jenis Pompa .....                    | 22 |
| 2.8.                                   | Pemilihan Putaran Pompa .....                  | 24 |
| 2.9.                                   | Spesifikasi Desain Pompa.....                  | 25 |
| 2.9.1.                                 | Kecepatan Spesifik.....                        | 25 |
| 2.9.2.                                 | Perhitungan Jumlah Tingkat Pompa.....          | 26 |
| 2.9.3.                                 | Penentuan Jenis Impeler .....                  | 31 |
| 2.9.4.                                 | Perhitungan Daya Input Pompa .....             | 33 |
| <br><b>BAB III PERENCANAAN IMPELER</b> |                                                |    |
| 3.1.                                   | Perencanaan Poros Impeler .....                | 35 |
| 3.2.                                   | Menentukan Ukuran-Ukuran Utama Impeler .....   | 36 |
| 3.2.1.                                 | Dimensi Impeler .....                          | 36 |
| 3.2.2.                                 | Diameter Hub.....                              | 37 |
| 3.2.3.                                 | Kecepatan Sisi Masuk Impeler .....             | 37 |
| 3.2.4.                                 | Luas Penampang Mata Sisi Masuk<br>Impeler..... | 39 |
| 3.2.5.                                 | Luas Total Penampang Masuk.....                | 40 |
| 3.2.6.                                 | Diameter Sisi Masuk Impeler .....              | 41 |
| 3.2.7.                                 | Sudut Sudu Sisi Masuk Impeler .....            | 41 |
| 3.2.8.                                 | Lebar Sisi Masuk Impeler.....                  | 43 |
| 3.2.9.                                 | Diameter Sisi Keluar Impeler .....             | 45 |
| 3.2.10.                                | Lebar Sisi Keluar Impeler .....                | 49 |
| 3.2.11.                                | Pengecekan Jumlah Sudu .....                   | 51 |
| 3.3.                                   | Segitiga Kecepatan.....                        | 52 |
| 3.3.1.                                 | Segitiga Kecepatan Sisi Masuk Impeler.....     | 52 |
| 3.3.2.                                 | Segitiga Kecepatan Sisi Keluar Impeler.....    | 52 |
| 3.4.                                   | Desain Bentuk Sudu Impeler.....                | 54 |



|                                              |                                                    |     |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----|
| 3.5.                                         | Lebar Laluan Impeler .....                         | 57  |
| 3.6.                                         | Bahan Impeler .....                                | 59  |
| 3.7.                                         | Pengecekan Kekuatan Impeler .....                  | 59  |
| 3.8.                                         | Pengecekan Head Pompa .....                        | 61  |
| <br><b>BAB IV PERENCANAAN RUMAH POMPA</b>    |                                                    |     |
| 4.1.                                         | Saluran Masuk .....                                | 63  |
| 4.2.                                         | Rumah Pompa dan Saluran Keluar .....               | 67  |
| 4.3.                                         | Desain Volut .....                                 | 68  |
| 4.3.1.                                       | Lebar Volut Pada Sisi Masuk .....                  | 73  |
| 4.3.2.                                       | Penentuan Sudut Lidah ( $\theta_l$ ) .....         | 73  |
| 4.3.3.                                       | Diameter Flens Saluran Keluar .....                | 75  |
| 4.3.4.                                       | Tebal Dinding Volut .....                          | 76  |
| 4.3.5.                                       | Koreksi Hasil Perhitungan Terhadap Efisiensi ..... | 80  |
| 4.3.6.                                       | Saluran Antar Tingkat.....                         | 81  |
| <br><b>BAB V PERENCANAAN POROS DAN PASAK</b> |                                                    |     |
| 5.1.                                         | Poros .....                                        | 84  |
| 5.1.1.                                       | Gaya Aksial .....                                  | 84  |
| 5.1.2.                                       | Gaya Radial .....                                  | 93  |
| 5.1.3.                                       | Momen Lengkung dan Gaya Geser Pada Poros .....     | 101 |
| 5.1.4.                                       | Defleksi .....                                     | 108 |
| 5.1.5.                                       | Kecepatan Kritis Poros .....                       | 114 |
| 5.2.                                         | Pasak .....                                        | 116 |
| 5.2.1.                                       | Pasak Antara Impeler dan Poros .....               | 117 |
| 5.2.2.                                       | Pasak Antara Poros dengan Cakram Pengimbang .....  | 121 |
| 5.2.3.                                       | Pasak Antara Poros dengan Kopling .....            | 121 |



## BAB VI KOMPONEN PENDUKUNG

|                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1. Bantalan .....                                             | 124 |
| 6.1.1. Jenis Bantalan .....                                     | 124 |
| 6.1.2. <i>Adapter Sleeve</i> dan Mur Pengunci<br>Bantalan ..... | 127 |
| 6.1.3. Pelumasan Bantalan.....                                  | 128 |
| 6.1.4. Rumah Bantalan.....                                      | 128 |
| 6.2. Kopling .....                                              | 128 |
| 6.3. Mur Pengunci Impeler ( <i>Lock Nut</i> ) .....             | 134 |
| 6.4. Pelapis Poros ( <i>Shaft Sleeve</i> ) .....                | 113 |
| 6.5. Baut Pengikat Rumah Pompa .....                            | 137 |

## BAB VII PENYEKAT

|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1. Cincin Aus ( <i>Wearing Ring</i> ) .....                          | 139 |
| 7.1.1. Cincin Aus Antara Impeler dengan Rumah<br>Pompa .....           | 139 |
| 7.1.2. Cincin Aus Antara Poros Dengan Dinding<br>Antar Tingkat.....    | 141 |
| 7.1.3. Cincin Aus Antara Cakram Pengimbang<br>Dengan Rumah Pompa ..... | 141 |
| 7.2. <i>Stuffing Box</i> .....                                         | 142 |

## BAB VIII EFISIENSI DAN KAVITASI

|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.1. Efisiensi .....                                                    | 144 |
| 8.1.1. Efisiensi Hidrolis .....                                         | 144 |
| 8.1.2. Efisiensi Volumetris .....                                       | 145 |
| 8.1.3. Efisiensi Mekanis .....                                          | 147 |
| 8.1.4. Efisiensi Total .....                                            | 150 |
| 8.2. Kavitasi .....                                                     | 150 |
| 8.2.1. NPSH ( <i>Net Pressure Suction Head</i> ) yang<br>Tersedia ..... | 151 |



|                                                   |                                                                    |     |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.2.2.                                            | NPSH ( <i>Net Pressure Suction Head</i> ) yang<br>Diperlukan ..... | 153 |
| 8.2.3.                                            | Faktor-faktor yang Mempengaruhi<br>Kavitasi .....                  | 155 |
| 8.2.4.                                            | Benturan Air ( <i>Water Hammer</i> ) .....                         | 155 |
| 8.2.5.                                            | <i>Surging</i> .....                                               | 156 |
| <br><b>BAB IX KARAKTERISTIK POMPA SENTRIFUGAL</b> |                                                                    |     |
| 9.1.                                              | Karakteristik Head Terhadap Kapasitas Pompa .....                  | 158 |
| 9.1.1.                                            | Head Teoritis Pompa .....                                          | 159 |
| 9.1.2.                                            | Kerugian Head Hidrolis .....                                       | 160 |
| 9.1.3.                                            | Kerugian Head Karena Adanya <i>Shock</i> .....                     | 161 |
| 9.2.                                              | Karakteristik Daya Terhadap Kapasitas Pompa .....                  | 163 |
| 9.3.                                              | Karakteristik Efisiensi Terhadap Kapasitas Pompa .....             | 166 |
| <br><b>BAB X PENUTUP</b> .....                    |                                                                    | 168 |
| <br><b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....                   |                                                                    | 170 |
| <br><b>LAMPIRAN</b> .....                         |                                                                    | 171 |

## DAFTAR GAMBAR

|             |                                                                                              |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1  | Instalasi pemompaan .....                                                                    | 13 |
| Gambar 2.2  | Grafik penentuan jenis pompa .....                                                           | 22 |
| Gambar 2.3  | Grafik penentuan efisiensi total berdasarkan<br>kecepatan spesifik dan kapasitas pompa ..... | 27 |
| Gambar 2.4. | Jenis impeler berdasarkan kecepatan spesifik .....                                           | 32 |
| Gambar 3.1  | Profil suatu impeler pompa sentrifugal .....                                                 | 36 |
| Gambar 3.2  | Grafik hubungan $k_{cm1}$ dan $k_{cm2}$ terhadap kecepatan<br>spesifik $n_s Q$ .....         | 38 |
| Gambar 3.3  | Grafik efisiensi volumetris sebagai fungsi kecepatan<br>spesifik dan kapasitas .....         | 39 |
| Gambar 3.4  | Segitiga kecepatan aliran fluida .....                                                       | 41 |
| Gambar 3.5  | Penampang sudu impeler .....                                                                 | 44 |
| Gambar 3.6  | Grafik sudut sudu keluar impeler terhadap kecepatan<br>spesifik .....                        | 46 |
| Gambar 3.7  | Segitiga kecepatan sisi masuk hasil perancangan .....                                        | 52 |
| Gambar 3.8  | Segitiga kecepatan sisi keluar hasil perancangan .....                                       | 54 |
| Gambar 3.9  | Grafik hubungan $C_m$ , $w$ , dan $\beta$ terhadap jarijari .....                            | 57 |
| Gambar 3.10 | Bagian mpeler yang rawan terhadap tegangan geser .....                                       | 60 |
| Gambar 4.1  | Saluran masuk lurus dan miring .....                                                         | 64 |
| Gambar 4.2  | Saluran masuk dengan belokan .....                                                           | 65 |
| Gambar 4.3  | Saluran masuk konsentrik .....                                                               | 65 |
| Gambar 4.4  | Saluran masuk berbentuk volut .....                                                          | 66 |
| Gambar 4.5  | Saluran masuk mulut lonceng .....                                                            | 66 |
| Gambar 4.6  | Bentuk penampang laluan volut .....                                                          | 68 |
| Gambar 4.7  | Rumah pompa volut .....                                                                      | 69 |
| Gambar 4.8  | Grafik hubungan $\left( \frac{C_{thr}}{U_2} \right)$ dengan kecepatan<br>spesifik .....      | 70 |



|             |                                                                    |     |
|-------------|--------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 4.9  | Grafik hubungan $\delta$ dengan $c_v$ .....                        | 77  |
| Gambar 4.10 | Tebal dinding volut .....                                          | 78  |
| Gambar 4.11 | Profil volut hasil perancangan .....                               | 80  |
| Gambar 4.12 | Grafik $A_{thr}/A_{II}$ terhadap kecepatan spesifik .....          | 80  |
| Gambar 4.13 | Diagram saluran <i>crossover</i> .....                             | 82  |
| Gambar 4.14 | Diagram saluran <i>crossover</i> jenis <i>cast-on</i> .....        | 82  |
| Gambar 4.15 | Crossover hasil perancangan .....                                  | 83  |
| Gambar 5.1  | Penampang impeler untuk menentukan gaya aksial .....               | 85  |
| Gambar 5.2  | Cakram penyeimbang gaya aksial .....                               | 87  |
| Gambar 5.3  | Koefisien gaya radial .....                                        | 94  |
| Gambar 5.4  | Penampang impeler dan sudu impeler .....                           | 95  |
| Gambar 5.5  | Penampang cakram pengimbang .....                                  | 97  |
| Gambar 5.6  | Kopling flens luwes .....                                          | 98  |
| Gambar 5.7  | Konstruksi poros yang direncanakan .....                           | 100 |
| Gambar 5.8  | Diagram gaya-gaya yang bekerja pada poros .....                    | 101 |
| Gambar 5.9  | Diagram momen lengkung (BMD) pada poros yang<br>direncanakan ..... | 105 |
| Gambar 5.10 | Diagram gaya geser pada poros yang direncanakan .....              | 108 |
| Gambar 5.11 | Titik-titik defleksi pada poros .....                              | 110 |
| Gambar 5.12 | Macam-macam pasak .....                                            | 116 |
| Gambar 5.13 | Faktor konsentrasi tegangan .....                                  | 117 |
| Gambar 6.1  | Mur pengunci bantalan .....                                        | 127 |
| Gambar 6.2  | Kopling flens luwes .....                                          | 130 |
| Gambar 6.3  | Baut dan mur pengikat kopling flens luwes .....                    | 131 |
| Gambar 6.4  | Konstruksi <i>shaft sleeve</i> .....                               | 136 |
| Gambar 7.1  | Konstruksi cincin aus antara impeler dengan rumah<br>pompa .....   | 140 |
| Gambar 7.2  | Konstruksi cincin aus pada cakram pengimbang .....                 | 142 |
| Gambar 7.3  | Konstruksi <i>stuffing box</i> .....                               | 143 |
| Gambar 8.1  | Sketsa untuk menentukan NPSH .....                                 | 152 |



|            |                                                                           |     |
|------------|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 8.2 | Harga $\sigma$ terhadap kecepatan spesifik untuk berbagai efisiensi ..... | 154 |
| Gambar 8.3 | Kurva karakteristik head yang menggambarkan <i>surging</i> .....          | 156 |
| Gambar 9.1 | Grafik cara menentukan head aktual pompa .....                            | 158 |
| Gambar 9.2 | Grafik karakteristik head terhadap kapasitas .....                        | 162 |
| Gambar 9.3 | Grafik karakteristik BHP terhadap kapasitas .....                         | 166 |
| Gambar 9.4 | Grafik karakteristik efisiensi terhadap kapasitas .....                   | 167 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 2.1 Putaran sinkron motor listrik.....                                                               | 14  |
| Tabel 2.2 Hasil perhitungan kecepatan spesifik.....                                                        | 30  |
| Tabel 3.1 Perhitungan sudut sudu impeler dengan Metode<br>point by point .....                             | 56  |
| Tabel 3.2 Perhitungan lebar laluan impeler .....                                                           | 58  |
| Tabel 4.1 Perhitungan $A_v$ dan $r_v$ pada berbagai sudut sentral .....                                    | 75  |
| Tabel 4.2 Perhitungan $r_v$ dengan kecepatan rata-rata aliran<br>konstan pada berbagai sudut sentral ..... | 76  |
| Tabel 5.1 Perhitungan berat poros .....                                                                    | 100 |
| Tabel 5.2 Perhitungan harga $K_t$ .....                                                                    | 109 |
| Tabel 5.3 Perhitungan defleksi lengkungan poros .....                                                      | 112 |
| Tabel 5.4 Perhitungan kecepatan kritis poros .....                                                         | 115 |
| Tabel 9.1 Hasil perhitungan head aktual .....                                                              | 162 |
| Tabel 9.2 Perhitungan daya kuda rem terhadap kapasitas<br>pompa .....                                      | 165 |
| Tabel 9.3 Perhitungan efisiensi pompa terhadap kapasitas<br>pompa .....                                    | 167 |

## DAFTAR NOTASI

|          |                                      |         |
|----------|--------------------------------------|---------|
| a        | : luas                               | $m^2$   |
| b        | : lebar                              | m       |
| c        | : kecepatan absolut                  | m/s     |
| d        | : diameter                           | m       |
| f        | : frekuensi jaringan listrik         | Hz      |
| g        | : percepatan gravitasi               | $m/s^2$ |
| h        | : tinggi di atas datum, head         | m       |
| i        | : jumlah tingkat pompa               |         |
| $k_{cm}$ | : koefisien kecepatan                |         |
| l        | : panjang                            | m       |
| m        | : massa aliran massa bahan bakar     | kg/jam  |
| n        | : putaran                            | rpm     |
| $n_c$    | : putaran kritis poros               | rpm     |
| $n_s$    | : kecepatan spesifik                 |         |
| $n_{sF}$ | : kecepatan spesifik bilangan bentuk |         |
| $n_{sP}$ | : kecepatan spesifik dinamik         |         |
| $n_{sQ}$ | : kecepatan spesifik kinematik       |         |
| p        | : tekanan                            | Pa      |
| r        | : jari-jari                          | m       |
| s        | : tebal sudu impeler                 | m       |
| t        | : jarak bagi sudu impeler            | m       |
| u        | : kecepatan keliling                 | m/s     |
| v        | : kecepatan                          | m/s     |
| w        | : kecepatan relatif                  | m/s     |
| z        | : jumlah sudu impeler                |         |
| z        | : tinggi permukaan cairan            | m       |
| A        | : luas                               | $m^2$   |
| $C_d$    | : koefisien aliran                   |         |



$C_p$  : koefisien Pfeleiderer

$E$  : modulus elastisitas bahan

$N/mm^2$

$F$  : gaya

$N$

$G$  : modulus gelincir

$kg/mm^2$

$H$  : head, tinggi kaitan ulir

$m$

$I$  : momen inersia

$mm^4$

$J$  : momen inersia polar

$mm^4$

$K_r$  : koefisien gaya radial

$K_t$  : konstanta pegas, faktor koreksi momen puntir

$L_h$  : umur bantalan

jam

$M$  : momen, momentum

$kg/mm$

$P$  : daya

HP

$Q$  : panas pembakaran

$kcal/jam$

$Q$  : kapasitas

$m^3/s$

$Q'$  : kapasitas total termasuk rugi-rugi aliran

$m^3/s$

$Re$  : bilangan Reynold

$T$  : temperatur

$^{\circ}C$

$T$  : torsi

$kg.mm$

$V$  : volume

$m^3$

$W$  : berat

$N$

$Y$  : Defleksi poros

$\alpha$  : sudut antara kecepatan absolut dan kecepatan keliling

$\beta$  : sudut sudu impeler

$\gamma$  : berat jenis

$kg/m^3$

$\delta$  : sudut divergensi

$\nu$  : viskositas kinematis

$m^2/s$

$\phi$  : defleksi puntir

rad

$\Delta$  : perubahan

$\eta$  : efisiensi

%

$\theta$  : sudut



$\mu$  : koefisien gesekan

$\sigma$  : koefisien avitasi Thoma, tegangan tarik  $\text{kg/mm}^2$

$\tau$  : tegangan geser  $\text{kg/mm}^2$

$\phi$  : koefisien konstiksi

$\psi$  : koefisien untuk sudu

$\omega$  : kecepatan sudut  $\text{rad/s}$



|            |                                  |
|------------|----------------------------------|
| 0          | : laluan mata impeler            |
| 1          | : ujung sudu sisi masuk impeler  |
| 2          | : ujung sudu sisi keluar impeler |
| 3          | : sisi masuk rumah volut         |
| <i>f</i>   | : gesekan                        |
| <i>h</i>   | : hidrolis                       |
| <i>i</i>   | : inlet                          |
| <i>k</i>   | : kopling                        |
| <i>l</i>   | : kebocoran                      |
| <i>m</i>   | : mekanis                        |
| <i>n</i>   | : normal, optimum                |
| <i>o</i>   | : outlet                         |
| <i>sh</i>  | : poros                          |
| <i>st</i>  | : statik                         |
| <i>t</i>   | : total                          |
| <i>th</i>  | : teoritis                       |
| <i>thr</i> | : throat                         |
| <i>u</i>   | : tangensial                     |
| <i>v</i>   | : volumetris                     |