

Re-Design Pompa Sentrifugal Double admission dengan Fluida Kerja Semi Lean Benfield Solution (K_2CO_3) pada Kapasitas 700 m³/h dan Head 275.8 m (Studi Kasus: PT. Petrokimia Gresik)

Fathur Rahim dan Prof. Dr. Ir. I Made Arya Djoni, M.Sc.

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: aryadjoni@me.its.ac.id

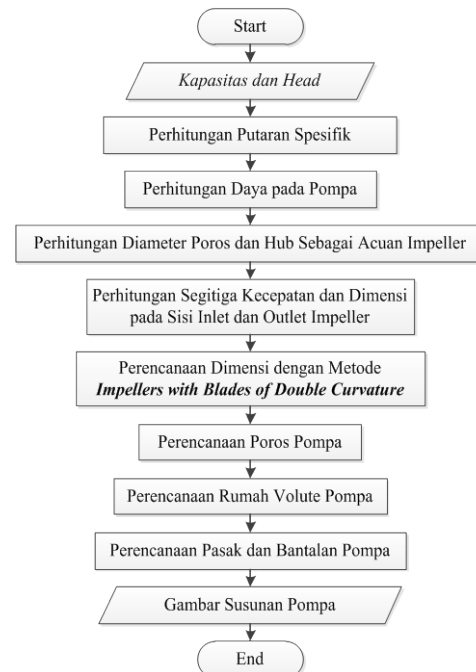
Abstrak—Penggunaan pompa sentrifugal dalam dunia industri, khususnya di PT. Petrokimia Gresik memiliki peran yang sangat penting, terutama untuk memindahkan fluida kerja dari satu tempat ke tempat lain. PT. Petrokimia Gresik dalam menggunakan jenis pompa untuk mengalirkan *semi lean benfield solution* (K_2CO_3) yang berfungsi sebagai CO_2 absorber dalam proses pembuatan amoniak. Seiring berjalannya waktu, kapasitas pompa *sentrifugal double admission* yang semula 582,3 m³/h ingin ditingkatkan menjadi 700 m³/h. Oleh karena itu, dilakukan perancangan ulang pompa *sentrifugal double admission* untuk fluida kerja *semi lean benfield solution* (K_2CO_3). Setelah itu dilakukan perancangan ulang pompa dengan data yang telah diolah meliputi perancangan poros, impeller dengan bentuk *sudu double curvature*, *volute*, pasak dan bearing. Dari perancangan ulang, didapatkan desain pompa *sentrifugal double admission* untuk fluida kerja *semi lean benfield solution* (K_2CO_3) yang sesuai dengan kapasitas 700 m³/h pada head 275,8 m serta daya BHP sebesar 886 Kwatt dengan efisiensi 74%.

Kata Kunci—*Double admission*, pompa sentrifugal, pompa kapasitas besar

I. PENDAHULUAN

Penggunaan pompa sentrifugal dalam dunia industri, khususnya di PT. Petrokimia Gresik memiliki peran yang sangat penting, terutama untuk memindahkan fluida kerja dari satu tempat ke tempat lain. Pompa aksial digunakan untuk menghasilkan kapasitas yang sangat besar dengan kebutuhan *head* yang kecil. Sedangkan pompa sentrifugal *double admission* digunakan untuk menghasilkan kapasitas yang besar dengan kebutuhan *head* yang cukup tinggi. Pompa sentrifugal *double admission* mampu menghasilkan kapasitas yang besarnya sama dengan dua kali kapasitas yang mengalir pada pompa dengan isapan tunggal dengan menghasilkan *head* yang sama.

Pompa sentrifugal dengan dua sisi hisap banyak sekali digunakan untuk menghasilkan kapasitas yang besar dengan *head* yang tinggi. Alasan tersebutlah yang dijadikan dasar penggunaan pompa sentrifugal *double admission* oleh PT. Petrokimia Gresik untuk mengalirkan *semi lean benfield solution* (K_2CO_3) yang berfungsi sebagai CO_2 absorber dalam proses pembuatan amoniak.



Gambar. 1. Diagram alir penelitian.

Adanya suatu kebutuhan pompa yang dapat digunakan untuk fluida kerja *semi lean benfield solution* (K_2CO_3) yang mampu menghasilkan kapasitas sebesar 700 m³/h pada *head* sebesar 275,8 m di mana pompa dengan sentrifugal isapan tunggal, pompa aksial dan pompa sentrifugal *double admission* yang terdapat di PT. Petrokimia Gresik sebelumnya tidak mampu memenuhi kebutuhan tersebut karena hanya mampu menghasilkan 582,3m³/h .

II. URAIAN PENELITIAN

A. Diagram Alir Penelitian

Penelitian Tugas Akhir ini akan dilaksanakan dengan mengikuti diagram alir penelitian. Adapun langkah-langkah tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

B. Perhitungan Perancangan

Data awal yang digunakan dalam perancangan pompa sentrifugal *double admission* ini adalah sebagai berikut: Fluida kerja: *Semi Lean Benfield Solution* (K_2CO_3), *Specific Gravit* : 1,249 ; *Head*: 275,8 m ; *Kapasitas*: 700 m³/h = 0,194 m³/s ; *Putaran*: 3000 rpm. Pertama dilakukan perhitungan dasar $n_{s,p}$

untuk pompa secara umum untuk mengetahui jumlah masukan fluida ke dalam *impeller* K_k seperti berikut.

$$n_{sP} = \sqrt{\frac{\gamma_{K_2CO_3}}{75} \cdot \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}}}$$

Maka, $\gamma_{K_2CO_3} = SG \cdot \gamma_{H_2O} = 1,249 \times 1000 \text{ Kgf/m}^3 =$

$$1249 \text{ Kgf/m}^3 \cdot n_{sP} = \sqrt{\frac{1249}{75} \cdot \frac{3000 \sqrt{0,194}}{275,8^{3/4}}} = 79,67$$

$$K_k = \left(\frac{n_{sP}}{n_{s1}}\right)^2 = \left(\frac{79,67}{60}\right)^2 = 1,8 \approx 2$$

Sehingga perhitungan ulang putaran spesifik untuk pompa *double admission* dapat dilakukan seperti berikut:

$$n_{sP} = \sqrt{\frac{\gamma_{K_2CO_3}}{75} \cdot \frac{n \cdot \sqrt{Q/K_k}}{H^{3/4}}}$$

$$n_{sP} = \sqrt{\frac{1249}{75} \cdot \frac{3000 \sqrt{0,194/2}}{275,8^{3/4}}} = 56,4 \approx 60$$

C. Daya Pada Pompa

Besarnya daya yang diterima fluida (WHP) dari *impeller* pompa adalah sebagai berikut:

$$WHP = SG_{K_2CO_3} \cdot g \cdot \rho_{H_2O} \cdot Q \cdot H$$

$$WHP = 1,249 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1000 \text{ Kg/m}^3 \times 0,194 \text{ m}^3/\text{s} \times 275,8 \text{ m}$$

$$WHP = 654.927,0 \text{ watt} = 655 \text{ Kwatt}$$

Untuk menentukan besarnya daya poros yang dibutuhkan (BHP) dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$BHP = \frac{WHP}{\eta_{ovr}}$$

$$\eta_{ovr} = \eta_h \eta_v \eta_m = 0,87 \times 0,94 \times 0,9 = 0,74$$

$$BHP = \frac{WHP}{\eta_{ovr}} = \frac{655 \text{ Kwatt}}{0,74} = 886 \text{ Kwatt}$$

D. Perancangan Impeller

Dalam melakukan perhitungan minimum poros, harus mempertimbangkan besarnya *momen bending* yang timbul pada poros tersebut akibat gaya-gaya yang bekerja didalamnya. Gaya-gaya tersebut seperti gaya akibat berat *impeller* dan gaya radial yang timbul dari *impeller*. Dalam menghitung berat *impeller* tentunya harus mengetahui *volume impeller* terlebih dahulu dan hal itu didapat melalui perhitungan yang bermula dari diameter *hub* yang didapat dari penentuan diameter poros

$$\frac{0,5 Syp}{N} \geq \frac{16 T}{\pi D^3}$$

di mana,

$$T = \frac{63000 \times HP}{rpm}$$

$$T = \frac{63000 \times 1204,4 \text{ HP}}{3000}$$

$$T = 2857,22 \text{ Nm}$$

Material poros yang digunakan adalah 17.4 PH.A SS dengan nilai $S_{yp} = 1000 \text{ MPa} = 1000 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$, maka :

$$D_{sh} \geq \sqrt[3]{\frac{32 \times T \times N}{\pi \times Syp}}$$

$$D_{sh} \geq 0,03875 \text{ m} \geq 38,75 \text{ mm}$$

Maka sebagai acuan awal diameter poros pompa yang ditentukan untuk dilakukan perhitungan selanjutnya yaitu, $D_{sh} = 86,00 \text{ mm}$. Selanjutnya diameter *hub impeller* :

$$D_{hub} = 1,3 \times D_{sh} = 1,3 \times 86,00 \text{ mm} = 111,8 \text{ mm}$$

Perhitungan Komponen Inlet Impeller

Besarnya kecepatan meridian pada sisi *inlet impeller* (C_{m1}) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_{m1} = K_{Cm1} \sqrt{2 \times g \times H}$$

$$C_{m1} = 0,14 \sqrt{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 275,8 \text{ m}} = 10,2985 \frac{m}{s}$$

Kecepatan Fluida Masuk Impeller (Co)

Besarnya kecepatan fluida masuk *impeller* pada sisi *inlet* (c_0) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$c_0 = \frac{C_{m1}}{\phi_1}$$

$$c_0 = \frac{C_{m1}}{\phi_1} = \frac{10,2985 \frac{m}{s}}{1,3} = 7,9219 \frac{m}{s}$$

E. Perhitungan Diameter Inlet Eye Impeller dan Diameter Sentral Streamline

$$Q' = \frac{Q}{\eta_v} = \frac{0,194 \frac{m^3}{s}}{0,94} = 0,21 \frac{m^3}{s}$$

Setelah di dapat nilai dari kapasitas teoritis, kita dapat menentukan *inlet area* (A_o), *cross sectional area hub impeller* (A_h) dan total *cross sectional area* (A_o')

$$A_o = \frac{Q'}{c_0} = \frac{0,21 \frac{m^3}{s}}{7,9219 \frac{m}{s}} = 0,026508 \text{ m}^2 = 26508 \text{ mm}^2$$

$$A_h = \frac{\pi}{4} D_{hub}^2 = \frac{\pi}{4} (111,8 \text{ mm})^2 = 9816,88 \text{ mm}^2$$

$$A_o' = A_o + A_h = 26508 \text{ mm}^2 + 9816,88 \text{ mm}^2 = 36324,88 \text{ mm}^2$$

Dari perhitungan di atas, dilakukan perhitungan kembali untuk mendapatkan diameter *inlet eye impeller* (d_o) seperti di bawah ini

$$d_o = \sqrt{\frac{4 \times A_o'}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 36324,88 \text{ mm}^2}{\pi}} = 215,059 \text{ mm}$$

Sedangkan diameter sentral *streamline* A_1A_2 (d_{A1}) sisi *inlet impeller* adalah sebagai berikut.

$$d_{A1} = \sqrt{\frac{d_o^2 + d_h^2}{2}} = \sqrt{\frac{(215,059 \text{ mm})^2 + (111,8 \text{ mm})^2}{2}} = 171,39 \text{ mm}$$

Desain Sudut Relatif Sisi Inlet Impeller untuk Streamline A1A2 (B1A)

Untuk mendapatkan besar sudut relatif sisi inlet impeller diperlukan perhitungan kecepatan peripheral A_1A_2 sisi inlet (U_{A1}) terlebih dahulu.

$$U_{A1} = \frac{\pi d_{A1} n}{60} = \frac{\pi \times 0,17139 \text{ m} \times 3000}{60} = 26,922 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Setelah didapatkan nilai dari kecepatan peripheral A_1A_2 sudut relatif streamline A_1A_2 sisi inlet impeller (β_{1A})

$$\tan \beta_{1A} = \frac{c_{m1}}{u_{A1}} = \frac{10,2985 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{26,922 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,3825$$

$$\text{sehingga } \beta_{1A} = 20,933^\circ$$

Agar kapasitas tekan pompa lebih optimal dan efisiensi pompa meningkat maka β_{1A} ditambah Angle Of Attack dengan syarat $2^\circ < \beta_1'' < 6^\circ$ (diambil $\beta'' = 3^\circ$)

$$\beta_{1A}' = \beta_{1A} + \beta'' = 20,933^\circ + 3^\circ = 23,933^\circ$$

Pengecekan Asumsi Faktor Koreksi Adanya Penyempitan (φ_1)

Berikut ini rumusan untuk melakukan pengecekan inlet constriction.

$$\frac{t_1 - s_{u1}}{t_1} = \frac{1}{\varphi_1} = 1 - \frac{s_1}{t_1} \sqrt{1 + \frac{\cot^2 \beta'_1}{\sin^2 \lambda'_1}}$$

jumlah sudu (Z) diasumsikan 5 karena fluida yang digunakan memiliki viskositas yang jauh lebih tinggi daripada air.

$$t_1 = \frac{\pi d_{A1}}{z} = \frac{\pi \times 171,39 \text{ mm}}{5} = 107,6875 \text{ mm}$$

$$\lambda'_1 = 78^\circ$$

$$\frac{1}{\varphi'_1} = 1 - \frac{s_1}{t_1} \sqrt{1 + \frac{\cot^2 \beta'_1}{\sin^2 \lambda'_1}}$$

$$\frac{1}{\varphi'_1} = 1 - \frac{8 \text{ mm}}{107,6875 \text{ mm}} \sqrt{1 + \frac{5,076}{0,957}}$$

$$\varphi'_1 = 1,23$$

Karena φ'_1 lebih kecil daripada yang diasumsikan $\varphi_1 = 1,3$, maka φ_1 diasumsikan ulang $\varphi_1 = 1,23$

Perhitungan Ulang Asumsi φ_1

Setelah melakukan pengecekan dan hasilnya kurang mendekati, maka dilakukan perhitungan ulang dengan melakukan asumsi yang baru

$$c_0 = \frac{c_{m1}}{\varphi_1} = \frac{10,2985 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,23} = 8,373 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$A_0 = \frac{Q'}{c_0} = \frac{0,21 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{8,373 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,0250813 \text{ m}^2 = 25081,3 \text{ mm}^2$$

$$A_h = \frac{\pi}{4} D_{hub}^2 = \frac{\pi}{4} (111,8 \text{ mm})^2 = 9816,88 \text{ mm}^2$$

$$A_o' = A_o + A_h = 25081,3 \text{ mm}^2 + 9816,88 \text{ mm}^2 = 34898,2 \text{ mm}^2$$

$$d_o = \sqrt{\frac{4 \times A_o'}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 34898,2 \text{ mm}^2}{\pi}} = 210,793 \text{ mm}$$

$$d_{A1} = \sqrt{\frac{d_o^2 + d_h^2}{2}}$$

$$= \sqrt{\frac{(210,793 \text{ mm})^2 + (111,8 \text{ mm})^2}{2}} = 168,72 \text{ mm}$$

$$d_{A1} = 0,16872 \text{ m}$$

$$U_{A1} = \frac{\pi d_{A1} n}{60} = \frac{\pi \times 0,16872 \text{ m} \times 3000}{60} = 26,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\tan \beta_{1A} = \frac{c_{m1}}{u_{A1}} = \frac{10,2985 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{26,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,3886$$

$$\text{sehingga } \beta_{1A} = 21,23^\circ$$

$$\beta_{1A}' = \beta_{1A} + \beta'' = 21,23^\circ + 3^\circ = 24,23^\circ$$

$$\frac{1}{\varphi'_1} = 1 - \frac{s_1}{t_1} \sqrt{1 + \frac{\cot^2 \beta'_1}{\sin^2 \lambda'_1}}$$

$$\frac{1}{\varphi'_1} = 1 - \frac{8 \text{ mm}}{106,01 \text{ mm}} \sqrt{1 + \frac{4,935}{0,957}}$$

$$\varphi'_1 = 1,23$$

Perhitungan Sudut Relatif Sisi Inlet Impeller untuk Streamline B_1B_2 dan C_1C_2 .

Untuk mendapatkan sudut relatif streamline B_1B_2 sisi inlet impeller (β'_{1B}) dilakukan perhitungan kecepatan peripheral B_1B_2 sisi inlet (U_{B1}) terlebih dahulu.

$$U_{B1} = \frac{\pi d_o n}{60} = \frac{\pi \times 0,210793 \text{ m} \times 3000}{60} = 33,1112 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\tan \beta'_{1B} = \frac{U_{A1}}{U_{B1}} \times \tan \beta'_{A1} = \frac{26,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{33,1112 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \times \tan 24,23^\circ = 0,36$$

$$\text{sehingga } \beta'_{1B} = 19,8^\circ$$

$$w_{1B} = \frac{c_{m1}}{\sin \beta_{1B}} = 30,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Sedangkan, untuk mendapatkan sudut relatif streamline C_1C_2 sisi inlet impeller (β'_{1C})

$$U_{C1} = \frac{\pi d_h n}{60} = \frac{\pi \times 0,1118 \text{ m} \times 3000}{60} = 17,56 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\tan \beta'_{1C} = \frac{U_{A1}}{U_{C1}} \times \tan \beta'_{A1} = \frac{26,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{17,56 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \times \tan 24,23^\circ = 0,679$$

$$\text{sehingga } \beta'_{1C} = 18,33^\circ$$

$$w_{1C} = \frac{c_{m1}}{\sin \beta_{1C}} = 18,33 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Nilai kecepatan relatif pada streamline A_1A_2 (w_1) adalah sebagai berikut.

$$w_1 = \frac{C_{m1}}{\sin \beta_{1A}} = \frac{10,2985 \frac{m}{s}}{\sin 24,23} = 25,094 \frac{m}{s}$$

Perhitungan Komponen Outlet Impeller

$$C_{m2} = 0,09 \sqrt{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 275,8 m} = 6,62 \frac{m}{s}$$

Kecepatan Periphieral U_2

$$U_2 = \frac{C_{m2}}{2 \tan \beta_2} + \left[\left(\frac{C_{m2}}{2 \tan \beta_2} \right)^2 + g \times H_{th} \times (1 + C_p) \right]^{1/2}$$

$1 + C_p$ = Koreksi Pfleider, diasumsikan 1,3

$$U_2 = \frac{6,62 \frac{m}{s}}{2 \tan \beta_2} + \left[\left(\frac{6,62 \frac{m}{s}}{2 \tan \beta_2} \right)^2 + 9,81 \frac{m}{s^2} \times 317,0115 m \times 1,3 \right]^{1/2}$$

$$U_2 = 73,325 \frac{m}{s}$$

Diameter outlet impeller didapat dengan perhitungan :

$$d_2 = \frac{60 \times U_2}{\pi \times n} = \frac{60 \times 73,325 \frac{m}{s}}{\pi \times 3000} = 0,46681 m$$

Untuk melakukan perhitungan selanjutnya, terlebih dahulu melakukan pengecekan terhadap jumlah sudu :

$$z = 6,5 \frac{d_2 + d_1}{d_2 - d_1} \sin \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$$

$$z = 6,5 (2,132)(0,3765)$$

$$z \approx 5$$

Pengecekan Asumsi Koreksi Pfleider

$$C_p = \frac{r^2 \times \psi}{z \times Mst}$$

$$\psi = (1 \sim 1,2) \times (1 + \sin \beta_2) \times \left(\frac{r_1}{r_2} \right) \text{ jika } \frac{d_2}{d_0} \leq 1,9$$

$$\psi = (0,55 \sim 0,68) + (0,6 + \sin \beta_2) \text{ jika } \frac{d_2}{d_0} > 1,9$$

$$\frac{d_2}{d_0} = \frac{0,466812}{0,210793} = 2,2145$$

Sehingga rumusan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\psi = (0,55 \sim 0,68) + 0,6 \sin 20^\circ = (0,76 \sim 0,89)$$

$$C_p = \frac{(0,233405)^2 \times 0,89}{5 \times 0,0325217} = 0,3$$

Perhitungan Lebar Outlet Impeller

$$t_2 = \frac{\mu \times d_2}{Z} = \frac{\mu \times 0,46681}{5} = 0,2933 m$$

$$Su_2 = \frac{S_2}{\sin \beta_2} = \frac{8 mm}{\sin 20^\circ} = 23,39 mm$$

$$\varphi_2 = \frac{t_2}{t_2 - Su_2} = \frac{0,2933 m}{(0,2933 - 0,02339)m} = 1,087$$

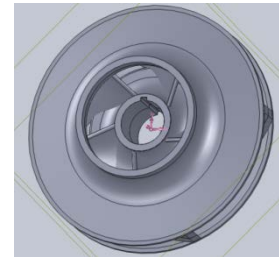
Luas Cross Sectional Impeller

$$A_2 = \frac{Q'}{C_{m2}} \times \varphi_2 = \frac{0,21 \frac{m^3}{s}}{6,62 \frac{m}{s}} \times 1,087 = 0,0345 m^2$$

Sehingga besarnya lebar outlet impeller :

Tabel 1.
Streamline A_1A_2

Point	r (m)	Δs (m)	cm (m/s)	w (m/s)	$\sin \beta = cm/w$	β	r tan β	K=1/r tan	$\Delta s = \Delta s \times (k_1 + k_{n-1})/2$	$\Sigma \Delta s$	$\theta^\circ = (180/\pi) \Sigma \Delta s$
A1	0,0844	0	10,3	25,09	0,410397	24,2	0,038	26,3396		0	0
1	0,0968	0,01	9,992	24,62	0,405916	23,9	0,043	23,2639	0,220840239	0,2	12,65963152
2	0,1092	0,01	9,685	24,14	0,401258	23,7	0,048	20,9042	0,199734066	0,4	24,10935505
3	0,1216	0,01	9,379	23,66	0,396411	23,4	0,053	19,0426	0,182924111	0,6	34,59454059
4	0,134	0,01	9,072	23,18	0,391364	23	0,057	17,5422	0,169273554	0,8	44,29903014
5	0,1465	0,01	8,766	22,7	0,386105	22,7	0,061	16,3125	0,158021134	0,9	53,35756648
6	0,1589	0,01	8,459	22,23	0,380619	22,4	0,065	15,2917	0,148638713	1,1	61,87825703
7	0,1713	0,01	8,153	21,75	0,374892	22	0,069	14,436	0,140749366	1,2	69,946692
8	0,1837	0,01	7,846	21,27	0,368908	21,6	0,073	13,7138	0,13407779	1,4	77,63269144
9	0,1961	0,01	7,54	20,79	0,362648	21,3	0,076	13,1018	0,128420358	1,5	84,99436801
10	0,2086	0,01	7,233	20,31	0,356094	20,9	0,079	12,5823	0,123623102	1,6	92,08104263
11	0,221	0,01	6,927	19,83	0,349224	20,4	0,082	12,1423	0,119570467	1,7	98,93540662
A2	0,2334	0,01	6,62	19,36	0,342014	20	0,085	11,7718	0,058858927	1,8	102,3094792



Gambar. 2. Impeller tiga dimensi

$$b_2 = \frac{A_2}{\pi \times d_2} = \frac{0,0345 m^2}{\pi \times 0,46681 m} = 0,02353 m$$

Untuk mendapatkan nilai dari masing-masing kecepatan dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$W_2 = \frac{C_{m2}}{\sin \beta_2} = \frac{6,62 \frac{m}{s}}{\sin 20^\circ} = 19,356 \frac{m}{s}$$

$$C_{u2} = U_2 - W_2 \cos \beta_2 = 73,325 - 19,356 \cos 20^\circ$$

$$= 55,136 \frac{m}{s}$$

$$\alpha_2 = \arctan \frac{C_{m2}}{C_{u2}} = \arctan \frac{6,62}{55,136} = 6,847^\circ$$

$$C_2 = \frac{C_{u2}}{\cos \alpha_2} = \frac{55,136 \frac{m}{s}}{\cos 6,847^\circ} = 55,532 \frac{m}{s}$$

Desain Sudu Impeller dengan Metode Double Curvature

Dalam mendesain sudu impeller digunakan metode *point by point double curvature*, yang mana perancangan sudu dengan menggunakan metode *double curvature* dilakukan dengan membuat tiga buah *streamline*. Ketiga *streamline* itu adalah *streamline* A_1A_2 , *streamline* B_1B_2 , dan *streamline* C_1C_2 . Pembuatan *streamline* A_1A_2 digunakan untuk perhitungan *static moment* M_{st} . Setelah itu dilanjutkan dengan membuat *streamline* B_1B_2 dan *streamline* C_1C_2 .

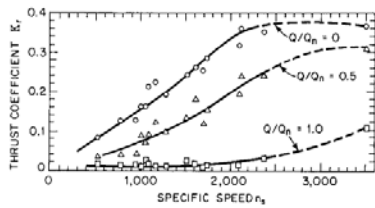
Dari hasil perhitungan *streamline* A_1A_2 , *streamline* B_1B_2 , dan *streamline* C_1C_2 maka didapat besar sudut θ° berdasarkan jari-jari (r).

F. Perencanaan Poros Pompa

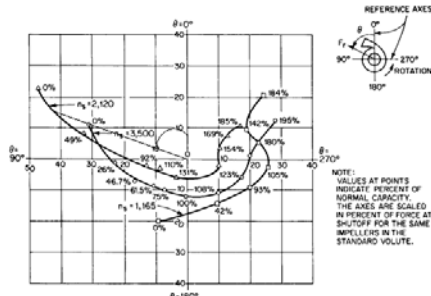
Volume dari impeller yang tertera pada Gambar hasil dari aplikasi solidwork adalah sebagai berikut:

$$V = 4903492.36 mm^3 = 0,005 m^3 = 5 \times 10^{-3} m^3$$

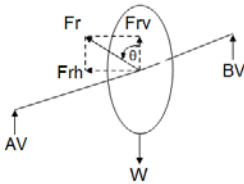
Dengan material poros yang digunakan adalah 17-4 PH A SS dengan massa jenis (ρ) $7,78 \frac{g}{cm^3} = \frac{1 kg}{1000 g} \frac{10^6 cm^3}{1 m^3}$ yang dikonversikan menjadi sebesar $7,78 \times 10^3 \frac{kg}{m^3}$. Sehingga berat impeller didapat dengan perhitungan sebagai berikut :



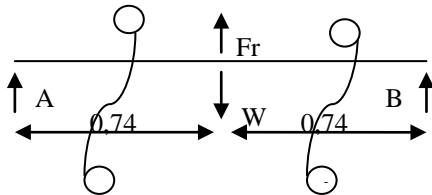
Gambar. 3. Grafik hubungan Kr terhadap ns.



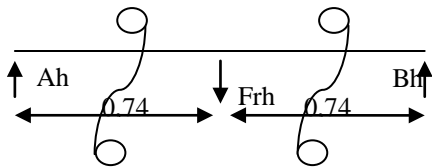
Gambar. 4. Arah gaya radial pada Impeller.



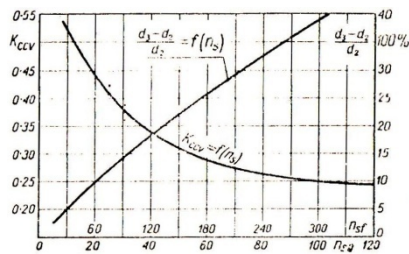
Gambar. 5. Diagram gaya bebas pada poros.



Gambar. 6. Diagram benda bebas pada arah vertikal.



Gambar. 7. Diagram benda bebas pada arah horizontal.



Gambar. 8. Grafik hubungan nsq terhadap Kcv

$$w = \rho \times v \times g$$

$$= 7,78 \times 10^3 \frac{kg}{m^3} \times 5 \times 10^{-3} m^3 \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$= 381,609 N$$

Besarnya gaya radial yang bekerja pada poros pompa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini. Berikut perhitungan gaya radial pada poros :

$$Fr = Kr \times p \times d_2 \times b_2$$

Untuk mendapatkan besarnya koefisien eksperimental Kr diperlukan perhitungan kecepatan spesifik yang kemudian diplot berdasarkan grafik hubungan Kr terhadap ns.

$$n_s = \frac{n \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

Di mana, Q = gpm ; H = ft

$$Q = 0,194 \frac{m^3}{s} = 194 \frac{dm^3}{s} = 194 \frac{lt}{dt}$$

$$Q = 194 \frac{lt}{dt} \times \frac{1 \text{ gpm}}{0,06309 \frac{lt}{dt}} = 3074,94 \text{ gpm}$$

$$H = 275,8 \text{ m} \times \frac{1 \text{ ft}}{0,3048 \text{ m}} = 904,856 \text{ ft}$$

$$\text{Maka, } n_s = \frac{3000 \sqrt{\frac{3074,94}{2}}}{904,856^{3/4}} = 713$$

$$Fr = Kr \times p \times d_2 \times b_2$$

$$= Kr (H \cdot SG_{K_2CO_3} \times \rho_{H_2O} \times g) \times d_2 \times b_2$$

$$= 0,15 \left(275,8 \text{ m} \times 1,249 \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \right)$$

$$0,4668 \text{ m} \times 0,0470 \text{ m}$$

$$= 11121,05 N$$

Setelah mengetahui besarnya gaya radial selanjutnya perlu mengetahui arah gaya radial tersebut bekerja. Dengan nilai ns = 713 maka dari grafik diatas dapat dilihat arah gaya.

$$Fr_h = Fr \cos \theta = 11121,05 N \times \cos 70^\circ = 3803,6 N$$

$$Fr_v = Fr \sin \theta = 11121,05 N \times \sin 70^\circ = 10450,4 N$$

Momen Pada Bidang Vertikal

$$\Sigma M_B = 0$$

$$Av \cdot 1,48 \text{ m} + (Frv - W) \cdot 0,74 = 0$$

$$Av = \frac{(W - Frv) \cdot 0,74}{1,48} = \frac{(W - Frv)}{2}$$

$$Av = \frac{(381,61 N - 3803,6 N)}{2} = -1710,995 N$$

Pada Bidang Horizontal

$$\Sigma M_B = 0 \quad Ah \times 1,48 \text{ m} - Fr_h \times 0,74 = 0$$

$$Ah = \frac{Fr_h \cdot 10450,4 N}{2} = \frac{10450,4 N}{2} = 5225,2 N$$

$$\Sigma M_x = 0,74 \text{ m} = Ah \times 0,74 \text{ m} = 5225,2 N \times 0,74 \text{ m}$$

$$= 3866,65 N \cdot m$$

$$M = \sqrt{(-1266,14)^2 + (3866,65)^2} = 4068,67 N \cdot m$$

Dari perhitungan di atas dapat diketahui nilai dari minimum poros yang diijinkan dengan perhitungan sebagai berikut.

$$dsh \geq \left(\frac{32 \cdot N \sqrt{M^2 + T^2}}{\pi \times Syp} \right)^{1/3}$$

$$dsh \geq \left(\frac{32 \cdot N \sqrt{4068,67^2 + 2857,22^2}}{\pi \times 1000 \times 10^6} \right)^{1/3} = 0,0466$$

$$\approx 46,6 \text{ mm}$$

Q. Perancangan Volute Pompa

Metode yang digunakan dalam perencanaan volute pompa ini adalah Constant Mean Velocity Of Flow.

Dari grafik didapatkan nilai Kcv sebesar 0,275 dengan

$$n_{sq} = \left(\frac{1}{3,65} \right) n_s = 15,45 \text{ Sehingga dapat ditentukan :}$$

$$C_v = K_{c_v} \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = 0,225 \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 275,8m} = 16,55 \frac{m}{s}$$

Besarnya luas penampang irisan rata-rata dari *volute* pompa

$$A_v = \frac{Q}{C_v} = \frac{0,194 \frac{m^3}{s}}{16,55 \frac{m}{s}} = 0,012 m^2$$

Lebar sisi *volute* pompa :

$$b_3 = 1,5 b_2 \times 2 = 1,5 \times 0,0235 m \times 2 = 0,0705 m$$

sehingga b_4 dapat direncanakan sebesar 0,07 m.

$$\text{Maka } a = \frac{b_4}{2} \cot \frac{\delta}{2} = \frac{0,07 m}{2} \cot \frac{40}{2} = 0,035 \times 2,75 =$$

0,09625 m Luas area untuk tiap-tiap cross section :

$A_v = \text{Area ABCDEA} - \text{Area ABEA}$

$$\frac{A_v}{360^0} = \frac{\pi x r^2 \delta}{360^0} - \frac{1}{4} b_4^2 x b_4 \cot \frac{\delta}{2}$$

$$\frac{0,012 m^2}{360^0} = \frac{\pi x r^2 40^0}{360^0} - \frac{1}{4} (0,07 m)^2 \times 0,07 m \times \cot \frac{40}{2}$$

$$r = \sqrt{\frac{1,29 \vartheta^0 + 167,2}{0,35}} \text{ Dengan variasi sudut } \vartheta^0 \text{ yang sering}$$

digunakan dalam perancangan *volute* pompa $\vartheta^0 = 45^0, 90^0, 135^0, 180^0, 225^0, 270^0, 315^0, 360^0$ Diameter *outlet* pompa direncanakan 10 in dan diameter *inlet* pompa 12 in dan material yang digunakan untuk casing *volute* pompa ini adalah 316 SS.

III. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil perancangan diperoleh spesifikasi pompa sentrifugal *double admission*. Berikut spesifikasi pompa sentrifugal *double admission* :

- Kondisi operasi
 - Fluida kerja : *Semi Lean Benfield Solution (K₂CO₃)*
 - *Specific Gravity* : 1,249
 - Head : 275,8 m
 - Kapasitas : 700 m³/h
 - Putaran : 3000 rpm
- Konstruksi
 - *Impeller*
 - ✓ Tipe : *Forwards Curve Vane Closed*
 - ✓ Diameter Out : 466,8 mm
 - ✓ Diameter In: 210,8 mm
 - ✓ Sudu : *double curvature* (5 buah)

- *Bearing*
 - ✓ Tipe : *angular contact ball bearing doble row SKF seri 5413A*
- Pasak
 - ✓ Tipe : *Standart square key*
- *Performance*
 - *Predicted Efficiency*: 74%
 - WHP : 655 Kwatt
 - BHP : 886 Kwatt
- *Material*
 - Poros : 17-4 PH A SS
 - *Impeller* : 17-4 PH A SS
 - *Casing Pompa* : 316 SS
 - *Impeller Ring* : 17-4 PH A SS
 - *Casing Ring* : 17-4 PH A SS
 - *Bearing* : AISI 52100 (*high Carbon Chrome Steel*)
 - Pasak : 17-4 PH H 1150-M SS
 - *Packing* : Asbestos

Berikut ini contoh Gambar pompa sentrifugal *double admission*.

B. Saran

Berikut beberapasarana yang dapat saya sampaikan setelah menyelesaikan perancangan pompa sentrifugal *double admission* untuk fluida kerja *Semi Lean Benfield Solution (K₂CO₃)* ini :

1. Dalam menentukan material komponen pompa harus mempertimbangkan sifat material yang sesuai dengan kondisi fluida kerja pompa dan faktor ekonomis.
2. Fenomena aliran fluida di dalam *impeller* dapat divisualisasikan dengan program fluent.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Deutschman, A.D., Michels W.J., dan Wilson C.E. 1975. *Machine Design*. Macmillan Publishing Co, Inc, New York.
- [2] Karassik, I.J., dan Heald C.C. 2011. *Pump Handbook*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- [3] Khetagourou, M. *Marine Auxilary Machinery and System*. Peace Publisher, Moscow.
- [4] Lazarkiewicz, S., and Troskolanski, A. 1965. *Impeller Pumps*. Pergamon Press Ltd, New York.
- [5] SKF Catalogue (www.skf.com)
- [6] Yoga, M.A.D. 2009. *Perancangan Pompa Sentrifugal untuk Menghasilkan Air terjun Buatan*. Mahasiswa FTI ITS angkatan 2006,