

PERHITUNGAN DAN PEMILIHAN POMPA PADA INSTALASI PENGOLAHAN AIR BEBAS MINERAL IRRADIATOR GAMMA 200 kCi

Tukiman, Puji Santoso, Ari Satmoko
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir-BATAN

ABSTRAK

PERHITUNGAN DAN PEMILIHAN POMPA UNTUK INSTALASI PENGOLAHAN AIR BEBAS MINERAL PADA IRRADIATOR GAMMA 200 kCi. Telah dilakukan perhitungan dan pemilihan pompa pada instalasi pengolahan air bebas mineral irradiator gamma kapasitas 200 kCi. Pompa diperlukan untuk mengalirkan air bebas mineral. Metode perhitungan didasarkan pada tahapan perhitungan diameter pipa dan kecepatan alir, kehilangan tekanan karena gesekan dalam pipa, fitting dan tabung-tabung filter, head pompa dan net positive suction head. Kapasitas pengolahan air bebas mineral dirancang dengan kapasitas 3 m³/jam atau setara dengan 50 liter/menit. Dari hasil perhitungan yang dilakukan diperoleh hasil: diameter pipa 25 mm, friction loss pipa dan peralatan 1,18 m, NPSHA hasil perhitungan 7,05 m, dan head total pompa 33,1 m. Pompa yang dipakai adalah jenis sentrifugal yang mempunyai NPFSR lebih kecil dari nilai NPSHA. Dari perhitungan diperoleh daya pompa 0,592 HP, daya listrik 436 Watt, dengan faktor keamanan 1,2. Maka dengan melihat head total pompa, NPSHA, dan daya pompa serta kapasitas atau debit pompa dipilih pompa Lowara type 2HM5 dengan spesifikasi daya 0,6 HP, daya listrik 550 Watt, tegangan input 220V/AC satu phase, dan jenis motor kapasitor.

Kata kunci: pompa, perhitungan, pemilihan, air demineral, irradiator

ABSTRACT

THE PUMP CALCULATION AND SELECTION FOR THE DEMINERALIZED WATER TREATMENT PLANT IN 200 kCi GAMMA IRRADIATOR. The pump calculation and selection for the demineralized water treatment plant was performed. The plant is a part of the 200 kCi gamma irradiator. A pump is needed to flow demineral water. The method of calculation is based on pipe diameter calculation and its flow rate, pressure drop due to the friction in pipes, in fittings and in tube filter, pump head and the net positive suction head. The capacity of the demineralized water treatment plant is designed at 3 m³/jam equivalent to 50 liters/min. The results are: 25 mm of diameter pipe, 1.18 m of friction loss due to pipe and its equipment, 7.05 m of NPSHA and 33.1 of the total head the pump. The pump is centrifugal model having the NPFSR value less than the NPSHA one. The calculation obtained a pump power at 0.592 hp or 436 Watt electric power, with the safety factor of 1.2. By considering the pump total head, the NPSHA, the power consumption, and the discharge capacity, it is decided to use Lowara pump type 2HM5. Its specifications are 0.6 HP of power, 550 Watt of power consumption, input voltage at 220V/AC, 50 Hz, 1 phase, and the motor is capacitor type.

Keywords: pump, calculation, selection, demineralized water, irradiator

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara agraris yang terletak di daerah khatulistiwa. Memiliki dua musim dalam satu tahun, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Dan merupakan daerah pertanian yang menghasilkan bermacam-macam hasil pertanian yang berupa makanan pokok, sayuran dan buah-buahan. Namun dengan kondisi musim yang ada yaitu musim hujan dan musim kemarau, mengakibatkan pola tanam yang harus mengikuti musim. Misalnya tanaman cabai, bawang merah, bawang putih, dan buah-buahan cocok ditanam pada musim kemarau. Akibatnya panen akan berlimpah pada musim tertentu dan sebaliknya. Sehingga stok tidak bisa dipertahankan secara

kontinyu, yang mengakibatkan kelangkaan beberapa jenis sayuran atau buah-buahan, dan harganya akan mahal.

Untuk mengatasi kelangkaan agar stok pangan dapat dipertahankan secara kontinyu, maka bahan makanan, buah-buahan tersebut harus diawetkan. Salah satunya dengan teknologi iradiasi pangan. Irradiasi pangan adalah proses memperlakukan bahan makanan dengan dosis tertentu dengan radiasi pengion yang akan memperlambat atau menghentikan pembusukan, dengan memperlambat tindakan enzim atau menghancurkan mikroorganisme dan juga dapat menonaktifkan organisme patogen bawaan makanan. Aplikasi lebih lanjut termasuk penghambatan pematangan dan penundaan pematangan^[1].

Instalasi iradiator memerlukan air bebas mineral untuk mengisi kolam tempat penyimpanan sumber radiasi gamma. Fungsi air kolam sebagai perisai radiasi saat sumber radiasi tidak dipergunakan. Instalasi pengolahan air bebas mineral memerlukan pompa untuk menghisap dan mengalirkan air menuju peralatan proses, misalnya dari kolam air baku dipompakan ke peralatan *sand filter*, dan tangki *carbon aktif*. Dalam pemilihan pompa diperlukan beberapa data yang merupakan *input* awal sebelum menentukan pilihan dan jenis pompa yang dipergunakan. Data yang diperlukan adalah debit aliran atau kapasitas produksi, temperatur, tekanan, densitas, kecepatan aliran fluida di dalam pipa dan lain-lain. Selain itu diperlukan juga data yang merupakan hasil dari perhitungan seperti perhitungan *friction loss* pipa, kehilangan tekanan (*pressure drop*) dalam pipa *fitting dan filter*, panjang pipa, NPSHA, dan *head* total pompa.

2. TEORI

Pompa biasanya digerakkan oleh motor listrik, daya dari motor diberikan kepada poros pompa untuk memutar *impeler* yang dipasangkan pada poros tersebut. Zat cair yang ada dalam *impeler* akan ikut berputar karena dorongan sudu-sudu. Karena timbulnya gaya *sentrifugal*, maka zat cair mengalir dari tengah *impeler* keluar melalui saluran diantara sudu dan meninggalkan *impeler* dengan kecepatan yang tinggi. Zat cair mengalir melalui saluran yang penampangannya makin membesar, sehingga terjadi perubahan dari *head* kecepatan menjadi *head* tekanan. Maka zat cair yang keluar dari *flens* pompa *head* totalnya menjadi besar. Penghisapan terjadi karena setelah zat cair yang dilemparkan *impeler*, ruang diantara sudu-sudu menjadi vakum sehingga zat cair akan terhisap masuk^[2].

Penetapan tahapan dalam pemilihan pompa diawali dengan membuat gambar rancangan tata letak instalasi pengolahan air bebas mineral, yang terdiri dari tata letak peralatan, bak *raw water*, pompa-pompa, tangki *sand filter*, tangki *kation*, tangki *anion*, tangki *mix bed*, dan tangki penyimpan air bebas mineral yang disertai dengan ukuran-ukurannya. Tahapan selanjutnya adalah menentukan debit air bebas mineral yang akan diproduksi dari instalasi tersebut. Panjang dan diameter pipa akan mempengaruhi kinerja pompa sehingga perlu dihitung untuk menentukan penurunan tekanan yang terdiri dari perhitungan *friction loss* pipa, *friction loss fitting*, dan *NPSHA pompa*.

2.1 Diameter pipa dan kecepatan aliran

Diameter pipa dan kecepatan aliran merupakan dua parameter yang selalu ada dalam sistem pemompaan. Untuk menghitung dua parameter tersebut digunakan persamaan berikut^[3]:

$$D_i = 3,9 \cdot Q_F^{0,45} \cdot \rho^{0,13} \dots\dots\dots (1)$$

di mana:

D_i : diameter dalam pipa mm atau inch

Q : kapasitas /debit aliran m³/jam atau Liter/menit

ρ : berat jenis fluida dalam kg/m³.

$$V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (2)$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \dots\dots\dots (3)$$

di mana:

V : kecepatan aliran fluida m/dt

Q : debit aliran /kapasitas m³/jam atau Liter/menit

A : luas permukaan m².

2.2 Friction Loss Pipa dan Fitting

Friction loss pipa dan *fitting* terjadi disebabkan gesekan antara air di dalam permukaan pipa dan *fitting*, sehingga menimbulkan gaya gesek, inilah yang menyebabkan hambatan pada tekanan pompa. Besarnya *friction loss* tergantung dari jenis material yang digunakan, diameter pipa dan panjang pipa. Dengan menggunakan pendekatan metode *Hazen William* maka persamaan untuk menentukan besarnya *friction loss* adalah sebagai berikut^[3]:

$$H_F = H_L \times L_{\text{pipa}} \dots\dots\dots (4)$$

$$H_L = \left(\frac{3,35 \times 10^6 \times Q}{d^{2,63} \times C} \right)^{1,852} \dots\dots\dots (5)$$

di mana =

H_F : *friction Loss* pipa, m

L_{pipa} : panjang pipa, m

H_L : *head loss* pipa, m/100m

Q : debit pompa liter/detik

d : diameter dalam pipa mm, inch

C : konstanta *Hazen William* (lihat Tabel 1)

Tabel 1. Nilai C untuk konstanta *Hazen William* inlet diameter pipa min dan max^[3]

No	Material pipa	Inlet dia. mm	Nilai C
1	Stainless steel	26.6	130
		303.3	142
2	Galvanized pipe	27.3	116
		155.3	129
3	Steel pipe sch 40	26.6	130
		303.3	142
4	Copper	23.0	141
		223.3	146
5	Ductile cast iron uncoated K12	81.5	118
		326.2	126
6	Polyethylene class 6	21.7	140
		278.0	140
7	PVC class 15	29.0	142
		138.7	151

2.3 Kehilangan Tekanan Pada Media Penyaring

Perhitungan kehilangan tekanan akibat aliran pada media berbutir yang seragam untuk media dengan porositas tidak sama maka untuk setiap lapisan media

dihitung tersendiri sebagai media seragam. Untuk media tidak seragam tetapi porositas seragam, perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan Carman-Kozeny sebagai berikut^[3]:

$$HL = f' \frac{L}{\psi \cdot d} \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \right) \frac{V^2}{g} \dots\dots\dots(6)$$

$$f' = 150 \left(\frac{1-\varepsilon}{N_{RE}} \right) + 1,75 \dots\dots\dots(7)$$

$$N_{RE} = \frac{\psi \cdot \rho \cdot d \cdot V_{a..}}{\mu} \dots\dots\dots(8)$$

di mana:

- HL : kehilangan tekanan akibat gesekan dalam m
- f' : koefisien kekasaran
- L : tebal media dalam kolom dalam cm
- ψ : faktor bentuk media /pasir
- d : diameter media/ pasir rata-rata dalam mm
- ε : porositas media/pasir
- V : rate filtrasi dalam m/jam
- g : kecepatan gravitasi dalam m/dt².
- μ : viskositas kenimatis
- ρ : berat jenis

2.3 Total Head Pompa

Total head pompa adalah kemampuan tekanan maksimum pada titik kerja pompa, sehingga pompa tersebut mampu mengalirkan air/fluida dari satu tempat ke tempat lainnya. Beberapa parameter yang diperlukan untuk menentukan total head pompa, diantaranya adalah *friction loss* pipa, *friction loss fitting*, *pressure drop* peralatan (kolom-kolom) dan *geodetic head*^[4].

Untuk menghitung total head pompa dipergunakan persamaan sebagai berikut :

$$H_{total} = H_{Fpipa} + H_{Fitting} + H_{sf} + H_g \dots\dots\dots(9)$$

di mana :

- H_{Fpipa} = Friction Loss pipa
- $H_{Fitting}$ = Friction loss fitting
- H_{sf} = Safety factor head
- H_g = Geodetic head

2.4. Net Positive Suction Head Available (NPSHA)

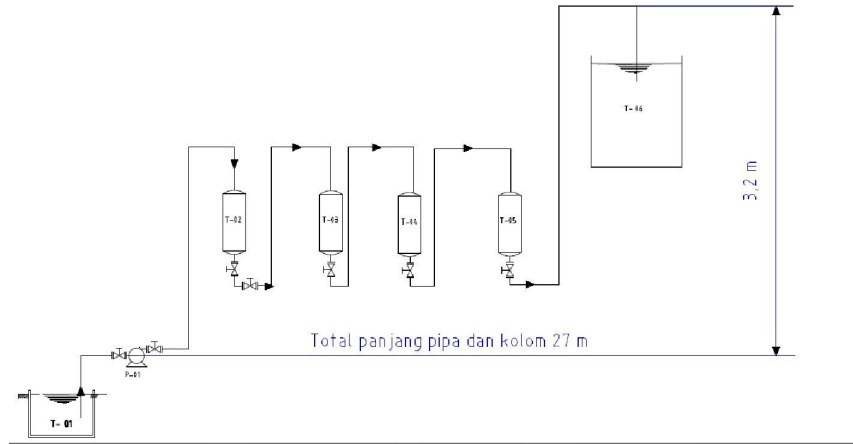
NPSHA adalah tekanan maksimum pada sisi hisap yang bernilai positif, yang ditentukan dengan cara perhitungan, seperti berikut ini^[4]:

$$NPSHA = H_b - (H_f + H_v + H_{sf} + H_s) \dots\dots\dots(10)$$

di mana

- H_b = Barometric head
- H_f = Friction loss pipa dan fitting
- H_v = Vapour head dari data tabel
- H_{sf} = Safety factor head
- H_s = Suction head

Pemilihan dan perhitungan daya pompa didasarkan dari desain persyaratan instalasi pengolahan air bebas mineral untuk iradiator gamma kapasitas 200 kCi, dengan debit aliran (Q) 3 m³/jam atau setara dengan 50 liter/menit. Data dan ukuran yang dipergunakan dalam perhitungan diambil dari gambar tata letak dan gambar diagram aliran proses instalasi pengolahan air bebas mineral.



Gambar 1. Diagram aliran pompa *suction* dan *discharge*^[5]

3. HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Dalam perhitungan dan pemilihan pompa, diketahui debit aliran (Q) $3 \text{ m}^3/\text{jam}$ atau setara dengan $50 \text{ liter}/\text{menit}$. Fluida yang dialirkan adalah air dengan massa jenis (ρ) $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$. Tekanan desain pompa (P) sebesar $709,1 \text{ kPa}$ dengan kondisi aliran dalam pipa dengan ukuran sama dan terdapat beda ketinggian.

3.1 Perhitungan Diameter Pipa

$$\begin{aligned}
 Di &= 3,9 \cdot Q_F^{0,45} \cdot \rho^{0,13} \text{ dalam milli meter atau Inch.} \\
 &= 3,9 \times 3^{0,45} \times 1000^{0,13} \\
 &= 16 \text{ mm diambil } 25 \text{ mm (diameter terkecil dari nozzle pompa)}
 \end{aligned}$$

3.2 Perhitungan Kecepatan Aliran Fluida

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{Q}{A} \\
 A &= \frac{\pi}{4} d^2 \\
 &= \frac{3,14}{4} 0,0254^2 = 5,0645^{-4} \text{ m}^2 \\
 V &= \frac{8,33^{-4}}{5,0645^{-4}} = 1,64 \text{ m/dt}
 \end{aligned}$$

3.3 Perhitungan *friction loss* pipa

Perhitungan *friction loss* pipa terbagi menjadi dua, yaitu perhitungan pada diameter pipa $25,4 \text{ mm}$ dengan panjang pipa (L) $20,84 \text{ m}$, dan perhitungan pada diameter kolom yang terdiri kolom *sandfilter*, kolom kation, kolom anion dan kolom *mix bed* yang masing masing mempunyai diameter yang berbeda dengan jumlah panjang keseluruhan $6,038 \text{ m}$.

Pipa yang digunakan adalah pipa jenis PVC dengan nilai C (konstanta Hazen William) untuk pipa PVC dengan diameter 25 mm adalah 142 .

3.4 Perhitungan *friction loss* pada kolom *sand filter*

Sebelum perhitungan *friction loss* pada kolom peralatan, harus diketahui ukuran diameter dan tinggi kolom, yang disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Ukuran kolom *sand filter*, kation, anion dan *mix bed*^[5].

No.	Nama Peralatan	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Jumlah
1.	Kolom <i>sand/carbon filter</i>	320	1646	1
2.	Kolom kation	265	1378	1
3.	Kolom anion	320	1646	1
4.	Kolom <i>mix bed</i>	266	1368	1

Tebal *bed* untuk masing-masing kolom adalah 60 cm dengan spesifikasi *gravity media*/ pasir 2,65, diameter media/pasir rata-rata 0,45 mm, faktor bentuk media/pasir 0,82, porositas media pasir 0,42, dan *rate* filtrasi 10m/jam pada suhu 28°C-30°C.

$$H_F = H_L \times L_{\text{pipa}}$$

$$H_L = \left(\frac{3,35 \times 10^6 \times Q}{d^{2,63} \times C} \right)^{1,852} =$$

$$H_L = \left(\frac{3,35 \times 10^6 \times 0,84}{320^{2,63} \times 142} \right)^{1,852} = 0,0000570 \text{ m} / 100 \text{ m}$$

H_F pada kolom *sand/carbon filter* adalah

$$H_F = 0,0000570 \times 1,646 \text{ m} \\ = 0,000093822 \text{ m}$$

Kehilangan tekanan pada kolom media pasir (*rapid sand filter*) dihitung dengan menggunakan Persamaan 6 sebagai berikut:

$$N_{RE} = \frac{0,82 \times 0,9963 \times 0,045 \times 0,27}{0,008363} = 1,2$$

$$f' = 150 \left(\frac{1-0,42}{1,2} \right) + 1,75 = 72,997$$

$$HL = 72,997 \frac{60}{0,82 \times 0,045} \left(\frac{1-0,42}{0,42^3} \right) \frac{(1000/3600)^2}{981} = 73,09 \text{ cm}$$

$$= 73,09 / 100 \\ = 0,7309 \text{ m}$$

$$H_F = 0,7309 \times 1,646 \text{ m} \\ = 1,2 \text{ m}$$

Dengan cara yang sama seperti perhitungan di atas, diperoleh kehilangan tekanan pada kolom anion, kolom kation dan kolom *mix bde* seperti disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. *Head loss* dan *friction loss* pada kolom peralatan

No.	Nama Peralatan	Head loss m	Friction loss m
1.	Kolom <i>sand/carbon filter</i>	0,7309	1,2
2.	Kolom kation	0,7309	1
3.	Kolom anion	0,7309	1,2
4.	Kolom <i>mix bed</i>	0,7309	0,99
	Jumlah	2,9236	4,39

3.5 Perhitungan *friction loss* pada pipa

Perhitungan H_L dan H_F pada pipa ukuran 25,4 mm dihitung dengan persamaan berikut:

$$H_L = \left(\frac{3,35 \times 10^6 \times 0,84}{25,4^{2,63} \times 142} \right)^{1,852} = \frac{0,02723}{100} \text{ m}$$

$$H_F = 0,02723 \times 20,84/100 \\ = 0,0056747 \text{ m}$$

Sehingga total *friction loss* pipa dan peralatan adalah:

$$H_{F \text{ Total}} = (0,0056747 + 4,39) \text{ m} \\ = 4,39 \text{ m} \\ = 4,39 \times 0,27 \\ = 1,18 \text{ m}$$

3.6. Perhitungan *friction loss* pada *Fitting*.

$$H_{F \text{ fitting}} = H_L \times \text{Jumlah fitting} \\ = 0,0056747 \times 20 \\ = 0,113494 \times 0,27 \\ = 0,030643 \text{ m}$$

3.7. Perhitungan *Head total* pompa

Untuk mendapatkan *head* pompa yang optimal, maka batasan kecepatan aliran fluida (v) yang ideal adalah antara 0,9 m/dt hingga 2 m/dt. Kecepatan aliran pada instalasi pengolahan air bebas mineral (v) adalah 1,6 m/dt. Dengan demikian perhitungan *head* pompa adalah sebagai berikut:

$$H_{\text{total}} = H_{F \text{ pipa+kolom}} + H_{F \text{ fitting}} + H_{\text{sf}} + H_{\text{s}}$$

di mana:

$$H_{F \text{ pipa}} = \text{Friction Loss pipa} \\ H_{F \text{ fitting}} = \text{Friction loss fitting} \\ H_{\text{sf}} = \text{Safety factor head} \\ H_{\text{g}} = \text{Geodetic head}$$

Sehingga,

$$\text{Head total pompa} = H_{F \text{ pipa+kolom filter}} + H_{F \text{ fitting}} + H_{\text{sf}} + H_{\text{g}} \\ = (1,18 + 4,390643 + 0,5 + 27) \text{ m} \\ = 33,1 \text{ m}$$

3.8. Perhitungan *Net Positive Suction Head Available (NPSHA)*

NPSHA adalah tekanan maksimum pada sisi hisap yang bernilai positif, yang ditentukan dengan cara perhitungan, seperti berikut ini:

$$NPSHA = H_b - (H_f + H_v + H_{\text{sf}} + H_{\text{s}})$$

di mana,

$$H_b = \text{Barometric head} \\ H_f = \text{Friction loss pipa+kolom+ fitting} \\ H_v = \text{Vapour head dari data tabel} \\ H_{\text{sf}} = \text{Safety factor head} \\ H_{\text{s}} = \text{Suction head}$$

Maka,

$$\begin{aligned} NPSHA &= H_b - (H_f + H_v + H_{sf} + H_s) \\ &= 10,33 - (1,18 + 0,4 + 0,5 + 1,2) \text{ m} \\ &= 10,33 - 3,28 \\ &= 7,05 \text{ m} \end{aligned}$$

3.9. Net Positif Suction Head Required (NPHSR)

NPHSR adalah tekanan pompa pada sisi hisap yang nilainya ditentukan berdasarkan desain pompa. NPHSR bernilai positif sehingga bersifat menghambat kemampuan hisap pompa, jika pompa dengan nilai NPHSR kecil berarti pompa tersebut mempunyai kemampuan hisap yang baik. Nilai NPHSR dapat dilihat dari kurva katalog pompa.

3.10. Perhitungan Daya Pompa

Daya yang dibutuhkan pompa adalah:

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho}{367 \cdot \eta} \dots \dots \dots kW \quad \text{atau} \quad P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho}{270 \cdot \eta} \dots \dots \dots HP$$

di mana:

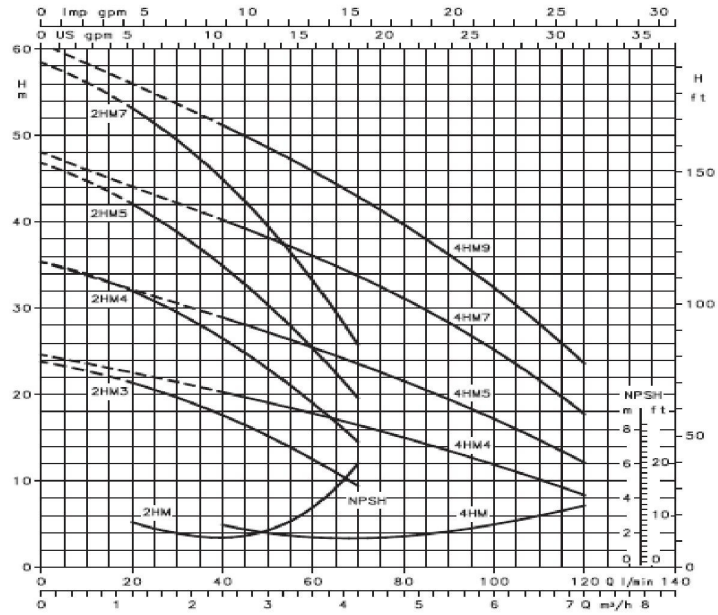
- P = Daya dalam W atau HP
- Q = Debit atau kapasitas aliran m³/jam
- H = Total head pompa m
- ρ = Berat jenis fluida kg/m³.
- η = Efisiensi dalam %

$$P = \frac{3 \times 40 \times 1}{367 \times 75\%} = 436 \text{ W}$$

$$P = \frac{3 \times 40 \times 1}{270 \times 75\%} = 0,592 \text{ HP}$$

Pemilihan pompa dilakukan dengan melihat debit aliran pompa, total head dan jumlah kerugian-kerugian tekanan akibat panjang pipa dan fitting, di mana panjang pipa dan fitting adalah 27 m. Debit aliran (Q) adalah 3 m³/jam dengan temperatur air antara 28 °C - 30°C, friction loss pipa dan peralatan 1,18 m. NPSHA hasil perhitungan 7,05 m, head total pompa 33,1 m. Pompa yang dipilih adalah jenis sentrifugal yang mempunyai NPHSR lebih kecil dari nilai NPSHA. Daya pompa adalah 0,592 hp dan daya listrik 436 Watt dengan faktor keamanan adalah 1,2.

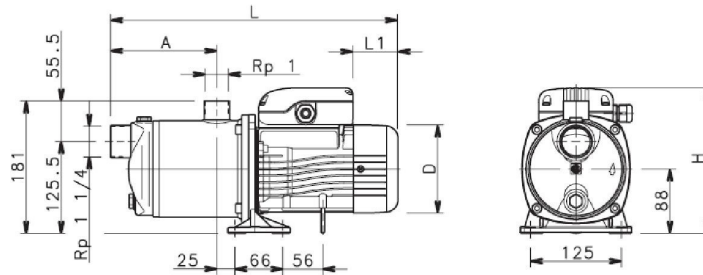
Dengan melihat head total pompa, NPSHA, dan daya pompa serta kapasitas atau debit pompa maka dipilih pompa Lowara type 2HM5 dengan spesifikasi daya 0,6 hp, daya listrik 550 Watt, tegangan input 220V/AC satu phase frekuensi 50 Hz dan jenis motor kapasitor. Grafik karakteristik pompa dan ukuran pompa tersebut dapat dilihat pada Gambar 2, 3 dan 4.



Gambar.2. Grafik NPSH, Head total vs debit aliran^[6].



Gambar 3. Pompa sentrifugal^[6].



Gambar 4. Ukuran pompa sentrifugal^[6].

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan pembahasan di atas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- debit aliran pompa ditentukan sebesar 3 m³/jam atau 50 liter/menit.
- perhitungan memberikan hasil sebagai berikut: diameter pipa 25 mm, *friction loss* pipa dan peralatan 1,18 m, nilai NPSHA 7,05 m, dan *head* total pompa 33,1 m.
- pompa yang dipilih adalah jenis sentrifugal Lowara type 2HM5 dengan spesifikasi sebagai berikut: daya 0,6 hp, daya listrik 550 Watt, tegangan input 220V/AC, 50 Hz, 1 phase, dan berjenis motor Kapasitor.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ANONYM, 2013, *Desain Rinci Irradiator Gamma Kapasitas 200 kCi untuk Irradiasi Bahan Pangan Hasil pertanian*, PROGRAM MANUAL, PM.01-WP0-WBS0-RPN-2013-04
- [2]. SULARSO, 1994, HARUO TAHARA, *Pompa Dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian & Pemeliharaan*, PT.Pradnya Paramita, Jakarta.
- [3]. RADIMAN, diunduh Oktober 2013, *Total Head, Friction Loss, NPSH dan Kavitas*, laman: <http://www/mikhamarthen.files.wordpress>
- [4]. MIKHA MARTHEN, diunduh Oktober 2013, *Total Head, Friction Loss*, laman: <http://www/mikhamarthen.files.wordpress>.
- [5]. ARI SATMOKO, dkk, 2013, *Laporan Teknis Desain Rinci Irradiator Gamma Kapasitas 200 Kci Untuk Irradiasi Bahan Pangan Hasil Pertanian*, PRPN-BATAN.
- [6]. ANONYM, *Centrifugal Pump ITT- Lowara HMS Series*, GENERAL CATALOG