

RANCANGAN AWAL SISTEM PENDINGIN PADA SIKLOTRON DECY 13 MEV

Mukhammad Cholil, Suyamto, Suprpto

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB) - BATAN
Jln. Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb Yogyakarta 55281
Email : ptapb@batan.go.id

ABSTRAK

RANCANGAN AWAL SISTEM PENDINGIN PADA SIKLOTRON DECY 13 MeV. Telah dilakukan rancangan awal sistem pendingin pada Siklotron DECY 13 MeV yang akan di instal di Gedung 05 PTAPB Batan. Rancangan ini didasarkan pada tata letak yang telah ditentukan beserta instalasi seluruh peralatan yaitu sistem magnet, RF-dee, sumber ion dan sistem vakum. Perhitungan-perhitungannya meliputi perpindahan panas pada chiller, sifat fluida, debit dan head pompa yang dihitung dari pressure drop pada tiap peralatan, mayor losses berupa ketinggian, serta minor losses yang terdiri dari rugi gesek pada pipa dan head pada komponen penunjang berupa valve, knee, alat ukur dan reduser, cabang T. Perhitungan heating load di dalam Siklotron DECY 13 MeV didasarkan pada jumlah daya listrik yang diperlukan pada setiap subsistem yang diubah menjadi panas. Dari perhitungan diketahui bahwa untuk mendinginkan semua peralatan sehingga suhu masuk dan keluar chiller tetap sebesar 25 °C dan 10 °C diperlukan debit air pendingin total 123 L/min. Dalam pendistribusianya dipakai 2 buah pompa, yaitu pompa 1 untuk magnet digunakan tipe WL 40/6 dengan debit 72,53 L/min dan head 175,66 m, serta pompa 2 tipe WL 40/6 dengan debit 50,6 L/min dan head 103,43 m untuk melayani RF-dee, sumber ion dan sistem vakum.

Kata kunci : siklotron, sistem pendingin, chiller.

ABSTRACT

PRELIMINARY DESIGN OF COOLING SYSTEM FOR DECY 13 MeV SIKLOTRON. Preliminary design of cooling a sistem for DECY 13 MeV Siklotron has been done, which will be installed in building 05 of PTAPB BATAN. The design is based on a predetermined layout and installation of all equipments, those are the magnet sistem, RF-dee, ion source and vacuum sistem. The calculations include heat transfer in chiller, fluid properties, flow and pump head, those are calculated from the pressure drop on each equipment, major losses of elevation, as well as minor losses which consist of friction losses in pipe and head in the supporting components of the valve, knee, measuring instrument, reduser and T-branch. The calculation of heating load in the DECY 13 MeV Siklotron is based on the amount of electrical power that required in each sub-system. From the calculation it is known that for cooling the equipment so that all incoming and outgoing chiller temperature remain at 25 °C and 10 °C required a total cooling water discharge of 123 L/min. In the distribution it is used two pumps: pump 1, types of WL 40/4 with floe rate 50,6 L/min, head 103,43 m to serve the RF-dee, ion sources and vacuum system.

Keywords : cyclotron, cooling system, chiller.

PENDAHULUAN

Siklotron adalah salah satu jenis akselerator siklik yang mempunyai peranan sangat penting khususnya dalam bidang kesehatan, karena peranannya dalam menghasilkan isotop yang digunakan sebagai bahan diagnostik medis menggunakan teknik PET (*Positron Emission Tomography*). Teknik diagnostik menggunakan PET mempunyai beberapa keunggulan antara lain dapat dihasilkan citra organ tubuh yang lebih presisi dan dalam bentuk 3 dimensi. Dalam siklotron, partikel

bermuatan atau proton dipercepat dalam jalur lingkaran aksial sehingga peralatannya lebih ringkas dibanding dengan akselerator linear. Keuntungan lain dari siklotron adalah memiliki peralatan yang sangat kompak dan dapat dipakai untuk menembakkan partikel ke target secara kontinyu sehingga daya rata-rata yang dihasilkan relatif lebih besar. Sebuah unit siklotron memiliki beberapa subsistem utama yaitu sistem magnet, pembangkit radio frekuensi (RF), sistem vakum, sistem sumber ion, sistem kendali dan sistem bantu.

Pada makalah ini dilakukan rancangan awal sistem pendingin pada Siklotron DECY 13 MeV yang akan di instal di Gedung 05 PTAPB BATAN, termasuk distribusi fluida pendingin pada semua sub sistem yang ada pada siklotron. Sistem pendingin mutlak diperlukan untuk menjaga komponen sub-sistem tersebut agar tidak mengalami *over heating* yang dapat mengakibatkan terjadinya penurunan kinerja komponen tersebut. Beban panas yang terjadi pada masing-masing peralatan atau sub-sistem pada siklotron DECY 13 MeV sangat beragam karena sub-sistem bekerja dengan konsumsi daya listrik yang berbeda. Perbedaan beban pemanasan akan menyebabkan perbedaan aliran air pendingin yang harus didistribusikan dengan pompa ke setiap sub-sistem.

DASAR TEORI

Dalam perencanaan sistem pendingin untuk suatu peralatan diperlukan beberapa macam perhitungan untuk menentukan beban pendinginan sebagai dasar penentuan spesifikasi teknis mesin pendingin (*chiller*) yang akan dipakai. Peralatan tiap sub-sistem pada Siklotron DECY 13 MeV yang membangkitkan panas dan merupakan beban pendinginan adalah magnet, RF-*dee*, sumber ion, dan sistem vakum. Pada masing-masing sub-sistem tersebut akan didistribusikan fluida air pendingin sehingga harus dilengkapi instalasi saluran air pendingin. Pada setiap instalasi saluran air pendingin tersebut akan mengalami hilang tekanan yang harus diatasi oleh pompa termasuk hilang tekanan dari sistem.

Perpindahan panas pada *chiller*

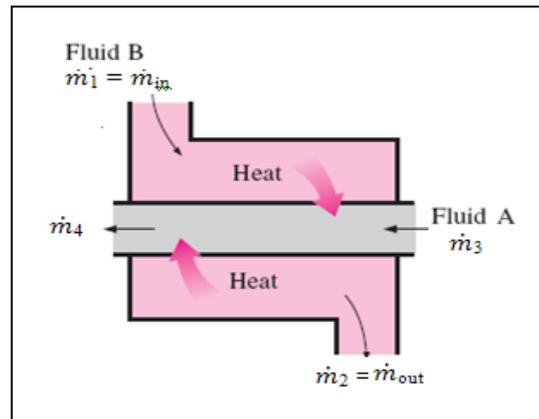
Di dalam Siklotron DECY 13 MeV, perpindahan panas terjadi secara konveksi dengan mengikuti prinsip kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi, lihat Gambar 1.

Kesetimbangan massa harus terjadi pada setiap fluida kerja, yang dalam hal ini adalah berupa air dan refrigeran.

$$m_{in} = m_{out}$$

Untuk masing-masing fluida yang tidak saling bercampur,

$$\begin{aligned} m_1 &= m_2 = m_{air} \\ m_3 &= m_4 = m_{refrigerant} \end{aligned} \quad (1)$$



Gambar 1. Prinsip perpindahan panas dalam *chiller*.

Dengan m adalah kecepatan alir massa fluida kerja (kg/s)

Kesetimbangan energi yang terjadi adalah sebagai berikut ^[4]:

$$E_{in} - E_{out} = dE_{sistem}/dt = 0$$

$$E_{in} = E_{out}$$

$$m_1 h_1 + m_3 h_3 = m_2 h_2 + m_4 h_4 \quad (2)$$

dengan h (kJ/kg) adalah enthalpi masing-masing fluida keluar masuk sistem.

Persamaan (2) tersebut di atas berlaku apabila :

1. Tidak ada panas yang masuk dan keluar sistem, $Q = 0$
2. Tidak ada kerja yang masuk kedalam sistem $W = 0$
3. Jumlah energi kinetik di dalam sistem dianggap nol ($E_K = 0$)
4. Jumlah energi potensial di dalam sistem dianggap nol ($E_P = 0$)

Dengan kombinasi kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi, pada persamaan (1) dan (2) akan diperoleh :

$$m_w (h_1 - h_2) = m_R (h_4 - h_3) \quad (3)$$

Untuk menyelesaikan persamaan (3) diperlukan enthalpi pada masing-masing titik.

Untuk menghitung energi perpindahan panas yang terjadi antara refrigeran dan air dalam bentuk watt (J/s) adalah sebagai berikut.

Dalam perpindahan panas terjadi penyerapan kalor oleh fluida dingin (refrigeran), dan sebaliknya kalor dilepaskan oleh fluida panas (air) ^[1] :

$$E_{in} - E_{out} = dE/dt = 0$$

$$E_{in} = E_{out}$$

$$Q_{w,in} + m_w h_1 = m_w h_2$$

Untuk air $Q_w = m_w (h_2 - h_1)$, dan untuk refrigerant $Q_R = m_R (h_4 - h_3)$ dimana $Q_w = Q_R$.

Untuk menghitung energi panas yang diterima oleh air,

$$Q_w = m_w \times C_w \times \Delta T \tag{4}$$

dengan,

Q_w : jumlah kalor yang diterima oleh air atau jumlah kalor yang di lepas oleh refrigeran (kJ/s)

m_w : jumlah massa air yang akan didinginkan (kg/s)

C_w : kalor jenis air (kJ/kg°C)

ΔT : selisih suhu masuk dan keluar air (°C)

Penentuan dan pemilihan pompa

Untuk menentukan pompa yang akan dipakai diperlukan *head* pada sistem dan debit air pendingin, yang perhitungannya adalah sebagai berikut, lihat Gambar 2 dan Lampiran tata letak *chiller* di gedung 05 yang telah ditentukan sebelumnya. Dari Gambar 2, terlihat bahwa pompa harus mempunyai daya yang dapat mengatasi *head* dan *pressure drop* tiap peralatan dan *pressure drop* sistem. Besar *pressure drop* peralatan tergantung pada konfigurasi peralatan, sedangkan *pressure drop* sistem tergantung pada komponen yang terdapat pada sistem dan instalasinya.

Pressure drop sistem terdiri dari *major losses* dan *minor losses* dengan *major losses* berupa

ketinggian aktual atau *head* statis, sedangkan *minor losses* disebut *head* dinamis yang diakibatkan oleh kecepatan alir, baik pada pipa lurus maupun komponen penunjang seperti alat ukur tekanan, aliran dan suhu, pipa lurus, belokan, *reducer*, cabang T, dan *valve*. Besarnya *minor losses* ditunjukkan pada persamaan 5.

$$H_L = \left(f \frac{L_{total}}{D} + C_L \right) \frac{V^2}{2g} \tag{5}$$

dengan,

H_L : *head* total *minor losses* (m),

f : koefisien gesek pipa,

L_{total} : panjang seluruh pipa (m),

D : diameter pipa (m),

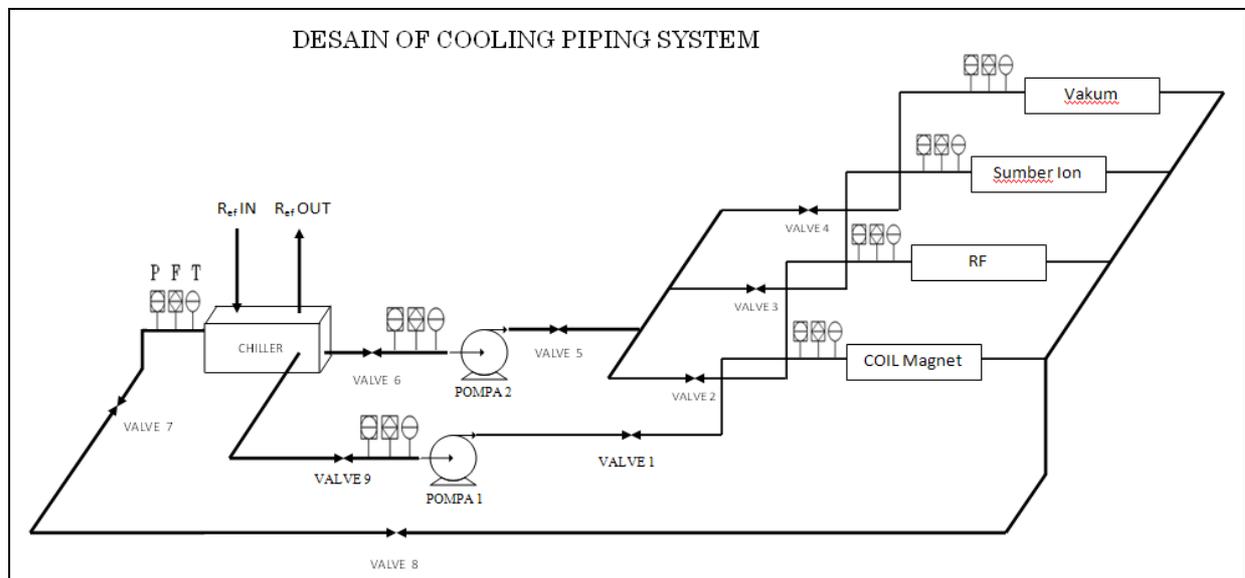
C_L : *Coeffisien losses*

V : kecepatan aliran (m/s) = $Q/A = Q/\pi r^2$,

g : percepatan gravitasi (m/s²),

Koefisien gesek (f) pada pipa tergantung pada bilangan *Reynold*, $Re = V \cdot L / \nu$, dengan ν adalah viskositas kinematik (m²/s). Jika bilangan *Reynold* > 2000 maka, jenis alirannya adalah turbulen, dan faktor gesekan (f) pada pipa dapat ditentukan dengan diagram *Moody* sebagai fungsi dari bilangan *Reynold* (Re) dan jenis bahan pipa yang dipakai.

Jadi *head* yang harus disediakan oleh pompa harus lebih besar sama dengan jumlah *head* seluruhnya yang terdiri dari *head* alat, *head* statis dan *head* dinamis, $H_p \geq H_a + H_s + H_d$.



Gambar 2. Instalasi sistem pemipaan.

RANCANGAN, PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Penentuan spesifikasi pompa

a. Perhitungan debit pompa (Q)

Sistem pendingin pada Siklotron DECY 13 MeV berfungsi untuk menjaga komponen sub-sistem siklotron dari *over heating*, karena panas yang terjadi di dalam kumparan magnet, sistem RF-dee, sumber ion, dan sistem vakum. Mengacu pada siklotron yang ada di RS Gading Pluit, maka air pendingin berasal dari *chiller*, kemudian didistribusikan ke masing-masing sub-sistem dengan debit dan kecepatan yang sesuai dengan jumlah pendinginan yang diperlukan. Langkah awal yang diperlukan untuk menghitung perpindahan panas pada *chiller* adalah dengan menghitung besarnya disipasi panas total yang terjadi pada siklotron berdasarkan besar daya yang digunakan. Dari jumlah total panas ini, pendingin harus mampu mengatasinya, artinya adalah bahwa kapasitas pendinginan yang terjadi harus lebih dari atau sama dengan panas yang ditimbulkan. Di dalam *chiller* perpindahan panas dapat dihitung yaitu dengan melihat Gambar 1 dimana fluida B berupa air dengan suhu masuk 25 °C dan suhu keluar 10 °C, sedangkan fluida A berupa refrigeran R134a dengan *enthalpy* masuk dan keluar pada evaporator masing-masing adalah 249,2 kJ/kg (tekanan 8,873 bar) dan 392,7 kJ/kg (tekanan 2,008 bar).

Energi yang dilepas oleh refrigeran adalah jumlah energi yang dapat mengatasi *heating load* yang terjadi. Besar energi ini tergantung pada jenis refrigeran yang digunakan yang mempunyai kemampuan menyerap kalor tertentu. Perhitungan perpindahan panas dilakukan dengan mengambil asumsi sebagai berikut.

1. Jenis aliran tunak yaitu tidak terjadi perubahan massa dan energi.
2. Energi potensial dan energi kinetik diabaikan
3. Tidak ada panas yang keluar dan kerja masuk dalam sistem
4. *Mass flow rate* refrigeran = 0,19 kg/s

Dari persamaan (1), $m_{in} = m_{out}$ sehingga untuk masing-masing fluida yang tidak saling bercampur berlaku $m_1 = m_2 = m_{water}$ dan $m_3 = m_4 = m_{Refrigeran}$. Sedangkan dari persamaan (2) $E_{in} - E_{out} = dE_{sistem} / dt = 0$ diperoleh $E_{in} = E_{out}$ dan $m_1 h_1 + m_3 h_3 = m_2 h_2 + m_4 h_4$ dari kombinasi kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi tersebut didapatkan $m_w (h_1 - h_2) = m_R (h_4 - h_3)$. Besarnya enthalpi pada masing-masing keadaan adalah^[3]

1. Entalpi air $h_2 = h_f = 105$ kJ/kg ($P = 0,101295$ Mpa, $T = 25^\circ\text{C}$)

2. Entalpi air $h_1 = h_f = 63,08$ kJ/kg ($P = 0,101295$ Mpa, $T = 10^\circ\text{C}$)
3. Entalpi refrigeran $h_3 = 249,2$ kJ/kg
4. Entalpi refrigeran $h_4 = 392,7$ kJ/kg

Dengan substitusi besaran-besaran tersebut pada persamaan (3) didapatkan kecepatan alir 0,481 kg/s. Untuk menghitung perpindahan panas di dalam *chiller* seperti pada Gambar 1, digunakan persamaan (4), sehingga diperoleh $Q_{w,in} = 30,6$ kJ/s = 30,6 kW. Dari persamaan (5) $Q_{w,in} = m_w \times C_w \times \Delta T$ dapat dihitung besarnya m_w dengan $C_w = 4,2$ kJ/kg°C dan $\Delta T = 10$ °C, diperoleh $m_w = 2,3$ kg/s. Karena $m_w = \rho \times V$ dan ρ air = 1000 kg/m³, maka $V = 2,05 \times 10^{-3}$ m³/s = 123 L/min.

Pada setiap sub-sistem dari siklotron diperlukan pendinginan yang berbeda, karena masing-masing bekerja dengan daya listrik yang berbeda. Untuk itu debit air yang harus dialirkan ke setiap sub-sistem sesuai dengan disipasi panas masing-masing, yaitu sistem magnet 18 kW, RF-dee 12 kW, Sumber ion 5 kW dan sistem vakum 4 kW. Berdasarkan sifat beban setiap sub-sistem tersebut diasumsikan bahwa untuk sistem magnet 100 % dan sistem vakum 30 %. Hal ini disebabkan karena hampir semua daya pada sistem magnet, sumber ion dan sistem vakum (pompa difusi) diubah menjadi panas dan yang ditransfer ke ion dan atau molekul (pompa difusi) sangat kecil. Untuk RF dengan tabung trioda (ITK 15-2 atau ITL 15-2) didasarkan pada spesifikasi dari tabung triode tersebut.

Distribusi debit air pendingin pada setiap sub-sistem sebanding dengan disipasi panasnya, sehingga dari perhitungan yang telah dilakukan diperoleh debit total air pendingin $Q = 123$ L/min dengan suhu 10 °C, debit untuk sistem magnet 72,35 L /min, sistem vakum 16,07 L/min, sumber ion 20,09 L/min, dan RF-dee 14,47 L /min.

b. Penentuan head pompa (H)

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa *head* pompa yang harus disediakan lebih besar dan sama dengan jumlah *head* seluruhnya yang terdiri dari *head* alat, *head* statis dan *head* dinamis. *Pressure drop* atau hilang tekanan yang terjadi di sepanjang pipa pada masing-masing sub-sistem tergantung dari konfigurasi alat yaitu: untuk koil magnet 10 atm, RF-dee 2,5 atm, sumber ion 2 atm, sistem vakum 0,5 atm. Karena perbedaan *pressure drop* koil magnet dibanding dengan tiga sub-sistem yang lainnya jauh lebih besar, maka agar pemakaian pompa lebih efektif dipakai 2 buah pompa, dimana pompa untuk sistem magnet dipisahkan dengan pompa untuk ketiga sub-sistem yang lain.

Untuk mengubah *pressure drop* (atm) menjadi *head* (m) maka harus dibagi dengan ρ (kg/m³) dan g (m/s²). Dimana satuan atm lebih dulu

harus diubah ke dalam satuan Pascal (N/m²). Dengan demikian diperoleh *head* magnet 101 m, RF-*dee* 25 m, sumber ion 20 m, dan sistem vakum 5 m. Jadi, *head* untuk subsistem adalah 151 m, terdiri atas *head* pada magnet 101 m dan *head* lainnya 50 m.

Untuk menghitung *head* instalasi terdiri dari pipa lurus dan komponen, terlebih dahulu ditentukan *lay out* sistem pemipaan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Dari *lay out* tersebut dapat diketahui panjang pipa, jumlah komponen dan ketinggian setiap sub-sistem seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 tersebut dapat dihitung *minor losses* dengan lebih dulu menghitung kecepatan alir pada setiap sub-sistem, bilangan Reynold (Re), faktor gesekan. Besar *minor losses* karena gesekan ditunjukkan pada Tabel 2. *Minor losses* yang berasal dari komponen penunjang pada Tabel 3, dengan besarnya *C_L* untuk *valve* 0,56, *knee* 0,9, alat ukur (diasumsikan sama dengan *valve*) dan reduser ekspansi 0,4 serta reduser kontraksi 0,23^[2].

Besar *minor losses* pada saluran utama yang disebabkan oleh gesekan pada pipa lurus dan komponen penunjang dihitung berdasar pada kecepatan alir masing-masing sub-sistem. Besar *minor losses* saluran utama untuk pompa 1 yang disebabkan oleh gesekan pada pipa adalah $(72,35/123) \times 41,5 = 24,4$ m dan untuk pompa 2 adalah 17,1 m. Sedangkan yang berasal dari

komponen penunjang masing-masing adalah untuk pompa 1 $(72,35/123) \times 84,6 = 49,76$ m dan pompa 2 adalah 34,83 m. Dari Tabel 2 dan Tabel 3 dapat diketahui besarnya seluruh *minor losses* dari setiap sub-sistem yang diakibatkan oleh gesekan pada pipa lurus dan komponen penunjang yaitu:

Jumlah *head* untuk pompa 1:

$$\begin{aligned} \text{Head total} &= H_{\text{pressure drop}} + H_{\text{statis ketinggian}} + H_{\text{gesekan}} + H_{\text{minor losses}} \text{ m} \\ &= 101 + 1/2 + 24,4 + 49,76 \text{ m} \\ &= 175,66 \text{ m} \end{aligned}$$

Jumlah *head* untuk pompa 2:

$$\begin{aligned} \text{Head total} &= H_{\text{pressure drop}} + H_{\text{statis ketinggian}} + H_{\text{gesekan}} + H_{\text{minor losses}} \text{ m} \\ &= 50 + 1,2 + 17,1 + 34,83 \text{ m} \\ &= 103,43 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga, spesifikasi pompa 1 dan pompa 2 ditentukan berdasarkan debit aliran (Q) dan *Head* (H) sesuai dengan gambar spesifikasi pompa pada Gambar 7. Untuk pompa 1 Q = 72,53 L/min dan H = 175,66 m, sehingga ditentukan pompa tipe WL 40/6. Sedangkan untuk pompa 2 Q = 50,6 L/min dan H = 103,43 m, sehingga ditentukan pompa tipe WL 40/4.

Penentuan jenis pompa dapat dilakukan dengan memotongkan harga dari debit (Q) dan *Head* (H) pada Gambar 4, sehingga didapatkan spesifikasi pompa.

Tabel 1. Panjang pipa komponen penunjang dan ketinggian pada tiap sub-sistem.

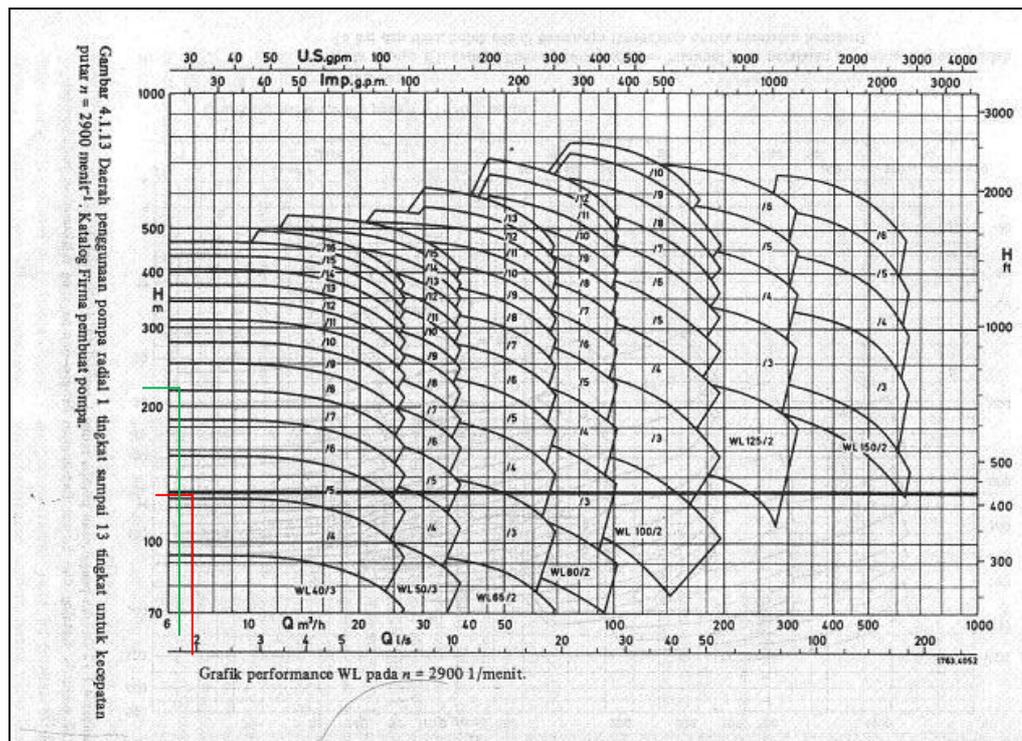
Sub-sistem	Panjang pipa lurus (m)	Komponen penunjang				Ketinggian (m)
		<i>Valve</i>	<i>Knee</i>	<i>Reducer</i>	Alat ukur	
Pipa utama	34	5	8	7	9	-
Sistem Magnet	4,5	1	3	-	3	0,5
RF- <i>dee</i>	2,5	1	3	-	3	0,5
Sumber ion	2,5	1	3	-	3	0,5
Sistem vakum	2,5	1	3	-	3	0,5

Tabel 2. *Minor losses* karena gesekan pada tiap sub-sistem.

Sub-sistem	Debit air Pendingin Q (L/min)	Kecepatan Alir V (m/s)	Reynold Re (x106)	Faktor gesekan	<i>Minor losses</i> (m)
Saluran pipa utama	123	4,04	105	0,01	6,9
Sistem Magnet	72,35	5,19	17	0,012	5,7
Sistem RF- <i>dee</i>	14,47	1,03	1,9	0,0145	0,15
Sistem Sumber Ion	20,09	1,44	2,75	0,013	0,26
Sistem Vakum	16,07	1,15	2,19	0,015	0,29

Tabel 3. Besar *minor losses* dari komponen penunjang.

Sub-sistem	Valve (m)	Knee (m)	Reducer		Alat ukur (m)	Jumlah <i>Minor losses</i> (m)
			Kontraksi	Ekspansi		
Saluran pipa utama	10,96	57,2	-	-	16,44	84,6
Sistem Magnet	1,18	1,9	0,36	0,8	3,54	7,78
Sistem RF- <i>dee</i>	0,15	0,07	0,2	0,03	0,45	0,9
Siste Sumber Ion	0,008	0,01	0,1	0,005	0,24	0,435
Sistem Vakum	0,05	0,09	0,09	0,04	0,02	0,29

**Gambar 4.** Tabel pemilihan tipe pompa.^[5]

KESIMPULAN

Dari hasil perancangan sistem pendingin pada siklotron DECY 13 MeV dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dengan refrigeran R134a, suhu masuk dan keluar *chiller* 25 °C dan 10 °C, diperlukan debit air pendingin 123 L/min.
2. Distribusi air pendingin pada masing-masing sub-sistem adalah sistem magnet 72,53 L/min, sistem RF-*dee* 14,47 L/min, sistem sumber ion 20,09 L/min, dan sistem vakum 16,07 L/min.
3. Pompa yang digunakan untuk system magnet adalah tipe WL 40/6, sedangkan untuk ketiga beban yang lain dilayani oleh 1 buah pompa tipe WL 40/4.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penelitian ini kami mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh anggota *team-work* siklotron DECY 13 MeV atas segala masukan yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. **C P ARORA.**, *Refrigeration and Air Conditioning*, Second Edition, International Edition 2001.
2. **S. L. DIXON, B. Eng., Ph.D,** *Fluid Mechanics, Thermodynamic of Turbomachinery*, Fourth Edition, 1998.
3. **CARL L. YAWS.**, *Handbook of Thermodynamic Diagrams*, Gulf Publishing Company, 1996.

4. **YUNUS A.CENGEL, MICHEAL A.BOLES,** *Thermodynamics An Engineering Approach*, The McGraw Hill Companies, 2006.
 5. **DAKSO S.,** *Turbin, Pompa dan Kompresor*, Erlangga, 1992.
-

TANYA JAWAB

Saminto

- Bagaimana cara menentukan diameter pipa saluran pendingin?

Mukh. Cholil

- ✓ Berdasarkan debitnya kemudian dipilih yang ada di pasaran dan umum digunakan.

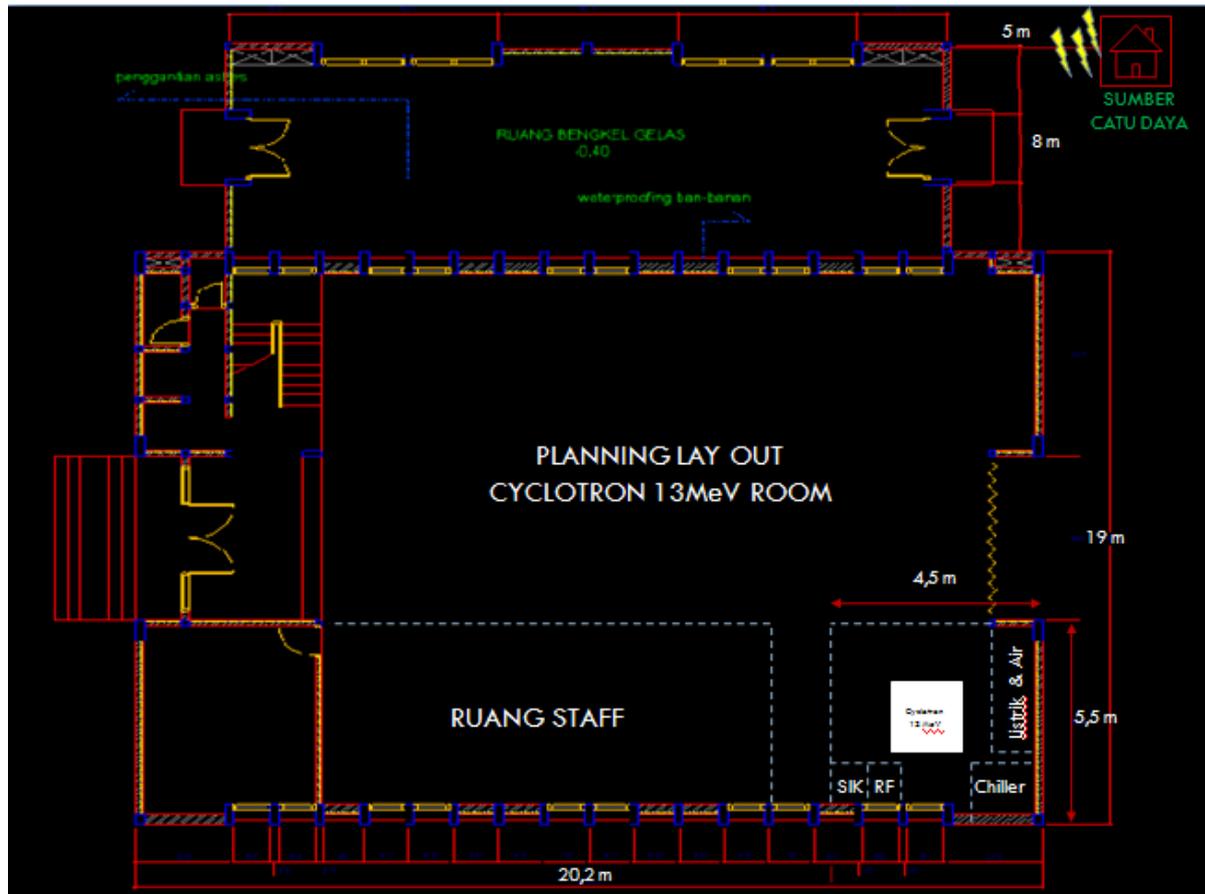
Edi Trijono

1. Mengapa digunakan dua pompa dalam rancangan pendinginan satu loop parallel?
2. Berdasar gambar rancangan pendingin, bagaimana cara menanggulangi terjadinya aliran mati/valve menutup 100 % yang beresiko merusak pompa?

Mukh. Cholil

1. Karena beda tekanannya terlalu besar sehingga apabila digunakan 1 pompa tidak efektif.
2. Value yang digunakan sementara dirancang jenis manual sehingga tidak akan terjadi tertutup 100 %.

LAMPIRAN



Lampiran 1. Desain *Layout* Penataan Siklotron 13 MeV di Gd. 05 PTAPB.