

PERANCANGAN KONDENSOR KOMPAK PADA UNTAI UJI BETA

Dedy Haryanto, Sagino, Riswan Djambiar
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir

ABSTRAK

PERANCANGAN KONDENSOR KOMPAK PADA UNTAI UJI BETA. Telah dilakukan perancangan kondensor kompak yang sesuai dengan persyaratan untuk dioperasikan pada tekanan 10 bar dan temperatur 90 °C. Pengoperasian kondensor kompak ini dengan cara diintegrasikan pada Untai Uji BETA (UUB). Perancangan kondensor kompak bertujuan untuk mendapatkan sebuah kondensor yang mudah dibongkar pasang sehingga dapat mempermudah perawatannya. Kondensor kompak ini akan menggantikan kondensor yang telah ada dan berfungsi untuk mengambil kalor dari instalasi Untai Uji BETA, dimana sisi sekunder kondensor dapat dimanfaatkan oleh fasilitas penelitian yang lain. Bagian-bagian kondensor kompak terdiri atas *tube* dan *flange* $\frac{3}{4}$ inchi, *cap* atas *flange slip on* 24 inchi serta tabung kondensor, *spiral tube*, *cap* bawah dan *support*. Pada bagian dalam kondensor terdapat *spiral tube* sebagai sisi primer dan *hanger* sebagai tempat kedudukan *spiral tube*. Perancangannya diawali dengan menentukan ketebalan minimal pipa yang akan digunakan melalui suatu perhitungan. Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa pipa yang digunakan adalah pipa *seamless* berdiameter nominal 24" *sch. 10* dan *tube stainless steel seamless* berdiameter 33,4 mm tebal 1,5 mm untuk menghubungkan dengan Untai Uji BETA. Komponen-komponen yang diperoleh masih harus dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui kekuatan mekanik sebelum dipabrikasi.

Kata Kunci : perancangan, kondensor kompak, Untai Uji BETA

ABSTRACT

DESIGN CONDENSER COMPACT ON BETA TEST LOOP. Design of compact condenser to satisfy operating condition of 10 bar and 90 °C has been performed. The condenser will be operated in conjunction with the BETA Test Loop. The purpose of design is to obtain a condenser, which is easily disassembled from the test loop for maintenance. The compact condenser will replace the existing condenser to remove heat from the test loop, and in the same time its secondary side can be utilized for other research purpose. The parts of compact condenser consist of upper and bottom tube and flange for secondary coolant flow and outlet, upper and bottom cap, upper and bottom flangeslip, condenser cylinder, spiral tube for primary coolant flow, hanger, and support. The design activity was initiated by calculation to find the minimum thickness of the cylinder condenser. Based on the calculation, the size of seamless pipe to be found was 24 inch in diameter with sch. 10 and seamless stainless steel tube with diameter of 33.4 mm thick with 1.5 mm to be connected with the BETA test loop. The final components needs to be analyzed further to evaluate its mechanical strength before starting the fabrication

Keywords : design, compact condenser, BETA Test Loop

PENDAHULUAN

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir mempunyai beberapa fasilitas untuk melakukan penelitian bidang termohidrolika, fasilitas-fasilitas tersebut adalah Untai Uji Termohidrolika Reaktor (General Loop), Untai

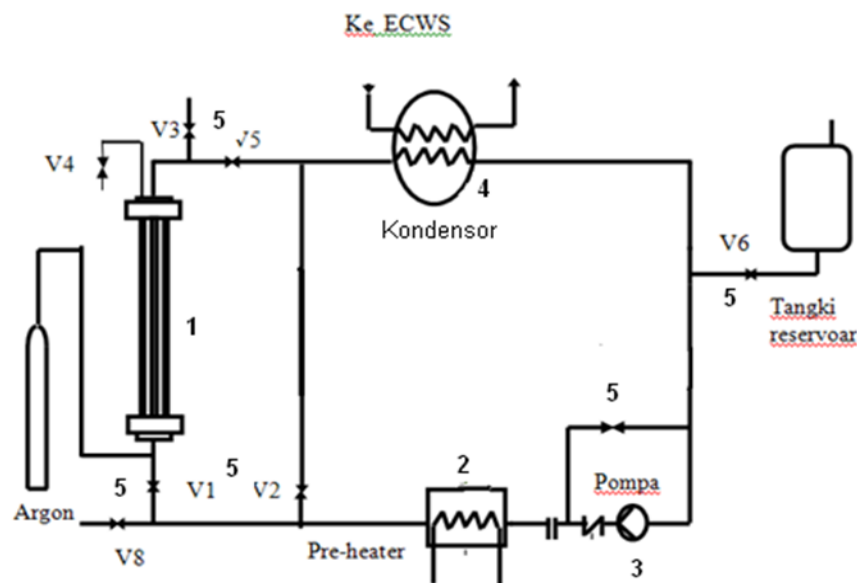
Uji Korosi (Primary Loop) Untai Uji Komponen (Test Component Rig) dan Untai Uji BETA (UUB). Untai Uji BETA (UUB) adalah sarana eksperimen yang digunakan untuk penelitian dan pemahaman fenomena reflooding yang terjadi pada bundel bahan bakar PWR selama

post-LOCA. Kondensor tipe kompak merupakan salah satu komponen fasilitas yang direncanakan untuk menggantikan kondensor yang telah ada. Kondensor tipe kompak ini berfungsi sebagai penukar kalor pada Untai Uji BETA dimana sisi sekunder dari kondensor dapat dimanfaatkan untuk fasilitas penelitian lainnya⁽¹⁾.

Perancangan kondensor tipe kompak yang terintegrasi pada fasilitas Untai Uji BETA diperlukan untuk mendapatkan sebuah kondensor yang mudah dibongkar pasang, sehingga mempermudah dalam segi perawatannya. Maka dilakukan kegiatan perancangan kondensor kompak untuk menggantikan kondensor yang telah ada. Perancangan kondensor kompak berdasarkan tekanan operasi sebesar 10 bar dan temperatur operasi sebesar 90

°C (194 °F). Pada pengoperasiannya, kondensor kompak diintegrasikan pada Untai Uji BETA seperti terlihat pada Gambar 1.

Pada Untai Uji BETA kanal uji dibuat transparan dari tabung kwarsa untuk memudahkan visualisasi menggunakan kamera video. Bundel uji terdiri dari satu sampai empat batang pemanas dengan daya panas total sekitar 8 kW. Pompa sirkulasi merupakan pompa sentrifugal yang laju alirnya dapat divariasikan hingga 50 lt/menit. Pemanas mula mempunyai daya maksimum sekitar 47 kW. Sistem pemipaan digunakan pipa Stainless Steel 316 dengan ukuran diameter $\frac{3}{4}$ inchi. Kondensor yang digunakan merupakan kondensor dengan jenis aliran lawan arah berkapasitas kurang lebih 70 kW.



Keterangan Gambar:

1. Kanal uji yang memuat bundel uji,
2. Pemanas mula (*preheater*)
3. Pompa sirkulasi
4. Kondensor atau Penukar kalor
5. Katup untuk mengatur aliran fluida

Gambar 1. Diagram alir Untai Uji BETA

Beberapa penelitian telah dilakukan menggunakan untai uji ini beserta kanal ujinya dan kendala yang ditemukan adalah kesulitan dalam perawatan dan perbaikan pada kondensor. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka dilakukan perancangan kondensor kompak, dimana kondensor ini dirancang dapat dibongkar pasang dengan mudah. Sehingga perawatan dan perbaikan kondensor dapat dilakukan dengan mudah. Bagian-bagian kondensor kompak terdiri dari *tube* dan *flange* bagian atas dan bawah untuk aliran pendingin sekunder, *cap* atas dan bawah, *flange slip* atas dan bawah, silinder kondensor, *spiral tube* untuk aliran pendingin primer, *hanger* dan *support*.

Makalah ini membahas tentang rancangan kondensor kompak yang diawali dengan perhitungan untuk menentukan ketebalan minimum pada dinding pipa yang akan digunakan sehingga sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Mengacu hasil perhitungan, selanjutnya dilakukan pembuatan gambar desain teknik. Pemilihan komponen-komponen sesuai dengan hasil perhitungan yang telah dilakukan dan pembuatan gambar teknik rancangan menggunakan software CATIA V5 R 19⁽²⁾, dengan mengacu pada buku panduan teknik Menggambar Mesin Menurut Standar ISO⁽³⁾.

TEORI

Bagian-bagian kondensor tipe kompak yang akan dirancang pada intinya terdiri dari sisi primer dan sisi sekunder. Pada sisi primer, aliran pendingin dari untai uji BETA masuk

melalui *spiral tube* untuk memindahkan kalor ke sisi sekunder. Pada sisi sekunder, aliran pendingin *Equipment Cooling Water System* (ECWS) masuk melalui *tube* sisi bawah. Kegiatan perancangan diawali melalui perhitungan untuk menentukan ketebalan dinding bahan dan jenis pipa yang akan digunakan pada kondensor kompak.

Ketebalan dinding pipa harus dapat memenuhi tekanan terbesar yang terjadi didalam pipa tersebut, dimana besar tekanan yang terjadi didalamnya harus dibatasi sesuai dengan besar tekanan yang diijinkan. Besar tekanan yang diijinkan dapat dihitung dengan persamaan ketebalan dinding minimum sebagai berikut⁽⁴⁾:

$$\frac{PD}{2t} < S \quad (1)$$

dengan:

- P = tekanan didalam pipa (psi)
- D = diameter luar pipa (inchi)
- t = ketebalan dinding pipa (inchi)
- S = tekanan yang diijinkan (psi)

Pada saluran fluida yang mempunyai resiko karena bertemperatur dan bertekanan yang tinggi, tekanan yang diijinkan ditetapkan pada persamaan dibawah ini :

$$S = 0,72 S_y E \quad (2)$$

dengan:

- 0.72 = faktor disain
- S_y = tekanan minimum yang ditetapkan, psi (lihat Tabel 1).
- E = faktor sambungan las melingkar (lihat Tabel 2).

Pada suhu lingkungan, tekanan dari hasil

persamaan ketebalan dinding minimum adalah nilai ketebalan minimum dari material pipa yang digunakan. Disain faktor sebesar 0.72 Sy didapatkan dari hasil pabrikasi, dimana pada pabrikasi pipa diuji untuk suatu tekanan hidrostatik yang mencapai suatu tekanan $PD/2t$ sebesar 90% Sy. Tetapi dalam kenyataannya pengujian tekanan hidrostatik dibatasi sebesar 80 %, atau $80\% \times 90\% \text{ Sy} = 72\% \text{ Sy} = 0,72 \text{ Sy}$.

Nilai tekanan minimum yang ditetapkan berdasarkan temperatur operasional dan bahan dari pipa dapat dilihat pada Tabel 1.

Kualitas pengelasan atau faktor efisiensi pengelasan (E) adalah suatu faktor yang berhubungan dengan kualitas suatu pipa dari hasil pabrikasi dimana nilai maksimumnya sebesar 1,0. Untuk pipa jenis *seamless* nilai E sebesar 1,0.

Tabel 1. *Yield Stress (Sy) dan Ultimate Stress (Su)* ⁽⁴⁾

Temperatur (°F)	A 106 Gr. B Sy [kpsi]	A 106 Gr. B Su [kpsi]	A 312 T.304 Sy [kpsi]	A 312 T.304 Su [kpsi]
100	35.0	60.0	30.0	75.0
200	31.9	60.0	25.0	71.0
300	31.0	60.0	22.5	66.0
400	30.0	60.0	20.7	64.4
500	28.3	60.0	19.4	63.5

METODOLOGI

Perancangan kondensor kompak diawali dengan melakukan perhitungan untuk menentukan ketebalan minimum dinding pipa yang digunakan sebagai tabung kondensor sesuai dengan persyaratan disain tekanan 10 bar dan temperatur operasi sebesar 90 °C (194 °F). Untuk memenuhi persyaratan tersebut, penentuan ketebalan dinding pipa dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2. Setelah ketebalan dinding pipa (*schedul pipe*) dapat ditentukan maka dilanjutkan dengan kegiatan pemilihan komponen-komponen yang digunakan sesuai hasil perhitungan mengacu pada *Standards of The Tubuler Exchanger Manufacturers*

Association. Berikutnya dilakukan pembuatan gambar teknik perancangan kondensor kompak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan ketebalan minimum dinding pipa sebagai tabung kondensor diawali dengan perhitungan tekanan yang diijinkan berdasarkan Persamaan 1 :

$$S = 0,72 \text{ Sy E}$$

$$\text{Sy} = 2,53 \times 10^4 \text{ psi}$$

(hasil ekstrapolasi pada temperature 194 °F untuk pipa jenis *seamless* 304)

$$E = 1.0 \text{ (pipa jenis } \textit{seamless} \text{ 304)}$$

$$S = 0,72 \times 2,53 \times 10^4 \times 1,0 = 1,82 \times 10^4$$

$$P = 10 \text{ bar} = 10 \times 14,5 \text{ psi} = 145 \text{ psi}$$

$$D = 609,6 \text{ mm} = 24 \text{ inchi}$$

$$\frac{PD}{2t} < S$$

$$\frac{PD}{2S} < t$$

$$\frac{145 \times 24}{2 \times 1,82 \times 10^4} < t$$

$$0,096 < t$$

Dari hasil tekanan yang diijinkan, diperoleh ketebalan minimum dinding pipa berdasarkan Persamaan 2 dengan asumsi diameter luar pipa $D = 0,096$ inchi. Untuk memperoleh spesifikasi pipa yang memenuhi persyaratan ketebalan minimum tersebut, digunakan Tabel *Dimensions of Welded and Seamless Pipe* ⁽⁵⁾ (Tabel 2) dengan asumsi pipa ukuran 24 inchi (diameter nominal) dan ketebalan 0,25 inchi (sch. 10) yang tersedia di pasaran.

Untuk mengetahui tekanan yang dihasilkan dengan pemilihan ketebalan dinding pipa diatas, dilakukan perhitungan ulang sebagai berikut :
 $t = 0,25$ inchi (ketebalan dinding pipa sch. 10)

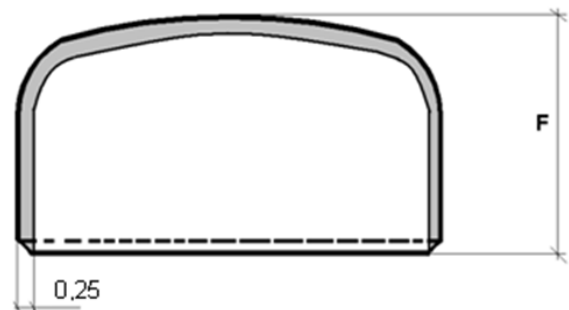
$$\frac{PD}{2t} \text{ psi} < S \text{ psi}$$

$$\frac{145 \times 24}{2 \times 0,25} \text{ psi} < 1,82 \times 10^4 \text{ psi}$$

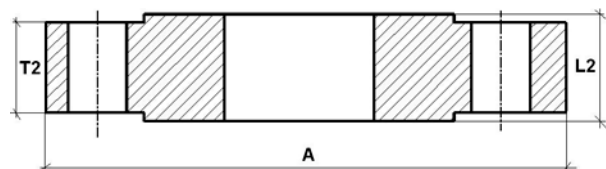
$$6,96 \times 10^3 \text{ psi} < 1,82 \times 10^4 \text{ psi}$$

Hasil perhitungan di atas menunjukkan bahwa tekanan yang dihasilkan masih dibawah tekanan maksimum untuk ketebalan dinding minimum, sehingga ukuran pipa 24 inchi dengan sch. 10 dapat digunakan.

Setelah ukuran yang diinginkan diperoleh, pembuatan gambar disain teknik kondensor kompak yang terdiri dari *tube* dan *flange* $\frac{3}{4}$ inchi, *cap* atas *flange slip on* 24 inchi serta tabung kondensor, *spiral tube*, *cap* bawah dan *support* dapat dilakukan. Pembuatan gambar desain dilakukan dengan menggunakan acuan beberapa tabel untuk menentukan jenis dan ukuran dari *cap* dan *slip on flanges* yang digunakan. Ukuran-ukuran pada *cap* didapatkan berdasarkan dari *schedule* pipa, sedangkan ukuran-ukuran pada *slip on flanges* berdasarkan dari tekanan operasional disain kondensor kompak yaitu sebesar 10 bar. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3 serta Tabel 3 dan Tabel 4 .



Gambar 2. Cap



Gambar 3. Slip On Flanges class 150 lb

Tabel 2. Dimensions of Welded and Seamless Pipe⁽⁵⁾

Nom PIPE SIZE	Out side Dia. PIPE	NOMINAL WALL THICKNESS FOR														
		sch. 5S*	sch. 10S*	sch. 10	sch. 20	sch. 30	Standard	sch. 40	sch. 60	Extra Strong	sch. 80	sch. 100	sch. 120	sch. 140	sch. 160	XX Strong
1/8	0.405	-	0.049	-	-	-	0.068	0.068	-	0.095	0.095	-	-	-	-	-
1/4	0.54	-	0.065	-	-	-	0.088	0.088	-	0.119	0.119	-	-	-	-	-
3/8	0.675	-	0.065	-	-	-	0.091	0.091	-	0.126	0.126	-	-	-	-	-
1/2	0.84	0.065	0.083	-	-	-	0.109	0.101	-	0.147	0.147	-	-	-	0.188	0.294
3/4	1.05	0.065	0.083	-	-	-	0.113	0.113	-	0.154	0.154	-	-	-	0.219	0.308
1	1.315	0.065	0.109	-	-	-	0.133	0.133	-	0.179	0.179	-	-	-	0.250	0.338
1 1/4	1.66	0.065	0.109	-	-	-	0.140	0.140	-	0.191	0.191	-	-	-	0.250	0.382
1 1/2	1.9	0.065	0.109	-	-	-	0.145	0.145	-	0.200	0.200	-	-	-	0.281	0.400
2	2.375	0.065	0.109	-	-	-	0.154	0.154	-	0.218	0.218	-	-	-	0.344	0.436
2 1/2	2.875	0.083	0.120	-	-	-	0.203	0.203	-	0.276	0.276	-	-	-	0.375	0.552
3	3.5	0.083	0.120	-	-	-	0.216	0.216	-	0.300	0.300	-	-	-	0.438	0.600
3 1/2	4	0.083	0.120	-	-	-	0.226	0.226	-	0.318	0.318	-	-	-	-	-
4	4.5	0.083	0.120	-	-	-	0.237	0.237	-	0.337	0.337	-	0.438	-	0.531	0.674
5	5.563	0.109	0.134	-	-	-	0.258	0.258	-	0.375	0.375	-	0.500	-	0.625	0.730
6	6.625	0.109	0.134	-	-	-	0.280	0.280	-	0.432	0.432	-	0.562	-	0.719	0.864
8	8.625	0.109	0.148	-	0.250	0.277	0.322	0.322	0.406	0.500	0.500	0.594	0.719	0.812	0.906	0.875
10	10.75	0.134	0.165	-	0.250	0.307	0.365	0.365	0.500	0.500	0.594	0.719	0.844	1.000	1.125	1.000
12	12.75	0.156	0.180	-	0.250	0.330	0.375	0.406	0.562	0.500	0.688	0.844	1.000	1.125	1.312	1.000
14 OD	14.0	0.156	0.188	0.250	0.312	0.375	0.375	0.438	0.594	0.500	0.750	0.938	1.094	1.250	1.406	-
16 OD	16.0	0.165	0.188	0.250	0.312	0.375	0.375	0.500	0.656	0.500	0.844	1.031	1.219	1.438	1.594	-
18 OD	18.0	0.165	0.188	0.250	0.312	0.438	0.375	0.562	0.750	0.500	0.938	1.156	1.375	1.562	1.781	-
20 OD	20.0	0.188	0.218	0.250	0.375	0.500	0.375	0.594	0.812	0.500	1.031	1.281	1.500	1.750	1.969	-
22 OD	22.0	0.188	0.218	0.250	0.375	0.562	0.375	-	0.875	0.500	1.215	1.375	1.625	0.188	2.125	-
24 OD	24.0	0.210	0.250	0.250	0.375	-	0.375	0.688	0.969	0.500	1.218	1.531	1.812	2.062	2.344	-
26 OD	26.0	-	-	0.312	0.500	0.625	0.375	-	-	0.500	-	-	-	-	-	-
28 OD	28.0	-	-	0.312	0.500	0.625	0.375	-	-	0.500	-	-	-	-	-	-
30 OD	30.0	0.250	0.312	0.312	0.500	0.625	0.375	-	-	0.500	-	-	-	-	-	-
32 OD	32.0	-	-	0.312	0.500	0.625	0.375	0.688	-	0.500	-	-	-	-	-	-
34 OD	34.0	-	-	0.312	0.500	0.625	0.375	0.688	-	0.500	-	-	-	-	-	-
36 OD	36.0	-	-	0.312	0.500	0.625	0.375	0.750	-	0.500	-	-	-	-	-	-
42 OD	42.0	-	-	0.312	0.500	-	0.375	-	-	0.500	-	-	-	-	-	-

Tabel 3. Dimensi *Cap* ⁽⁵⁾

<i>Pipe Size</i> (inchi)	<i>F</i> (inchi)
½	1
¾	1 ½
1	1 ½
1 ¼	1 ½
1 ½	1 ½
2	1 ½
2 ½	1 ½
3	2
3 ½	2 ½
4	2 ½
5	3
6	3 ½
8	4
10	5
12	6
14	6 ½
16	7
18	8
20	9
24	10 ½
30	10 ½

Tabel 4. Dimensi *Slip On Flanges Cass 150 lb* ⁽⁵⁾

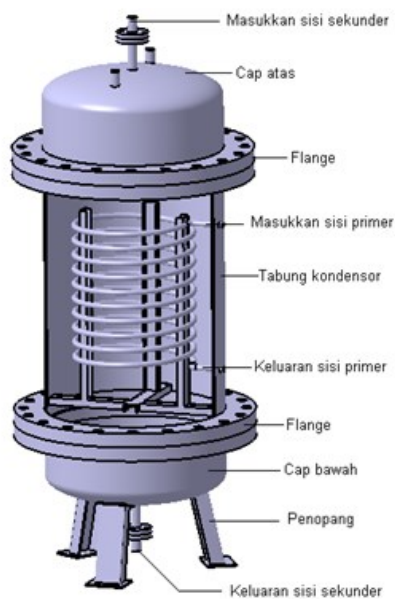
<i>Nom. Pipe Size</i> (inchi)	A	T 2	L 2			<i>Bolt Circle</i>	<i>No. & Size of Hole</i>
			<i>Weld Neck</i>	<i>Thrd Slip On</i>	<i>Lap. Joint</i>		
½	3 ½	7/16	1 7/8	5/8	5/8	2 3/8	4 - 5/8
¾	3 7/8	½	2 1/16	5/8	5/8	2 ¾	4 - 5/8
1	4 ¼	9/16	2 3/16	11/16	11/16	3 1/8	4 - 5/8
1 ¼	4 5/8	5/8	2 ¼	13/16	13/16	3 ½	4 - 5/8
1 ½	5	11/16	2 7/16	7/8	7/8	3 7/8	4 - 5/8
2	6	¾	2 ½	1	1	4 ¾	4 - ¾
2 ½	7	7/8	2 ¾	1 1/8	1 1/8	5 ½	4 - ¾
3	7 ½	15/16	2 ¾	1 3/16	1 3/16	6	4 - ¾
3 ½	8 ½	15/16	2 13/16	1 ¼	1 ¼	7	8 - ¾
4	9	15/16	3	1 5/16	1 5/16	7 ½	8 - ¾
5	10	15/14	3 ½	1 7/16	1 7/16	8 ½	8 - 7/8
6	11	1	3 ½	1 9/16	1 9/16	9 ½	8 - 7/8
8	13 ½	1 1/8	4	1 ¾	1 ¾	11 ¾	8 - 7/8
10	16	1 3/16	4	1 15/16	1 15/16	14 ¼	12 - 1
12	19	1 1/4	4 ½	2 3/16	2 3/16	17	12 - 1
14	21	1 3/8	5	2 ¼	3 1/8	18 ¾	12 - 1 1/8
16	23 ½	1 7/16	5	2 ½	3 7/16	21 ¼	16 - 1 1/8
18	25	1 9/16	5 ½	2 11/16	3 13/16	22 ¾	16 - 1 ¼
20	27 ½	1 11/16	5 11/16	2 7/8	4 1/16	25	20 - 1 ¼
24	32	1 7/8	6	3 ¼	4 3/8	29 ½	20 - 1 3/8

Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan desain kondensor kompak yang diperoleh, dimana ukuran komponen-komponen di dalamnya adalah :

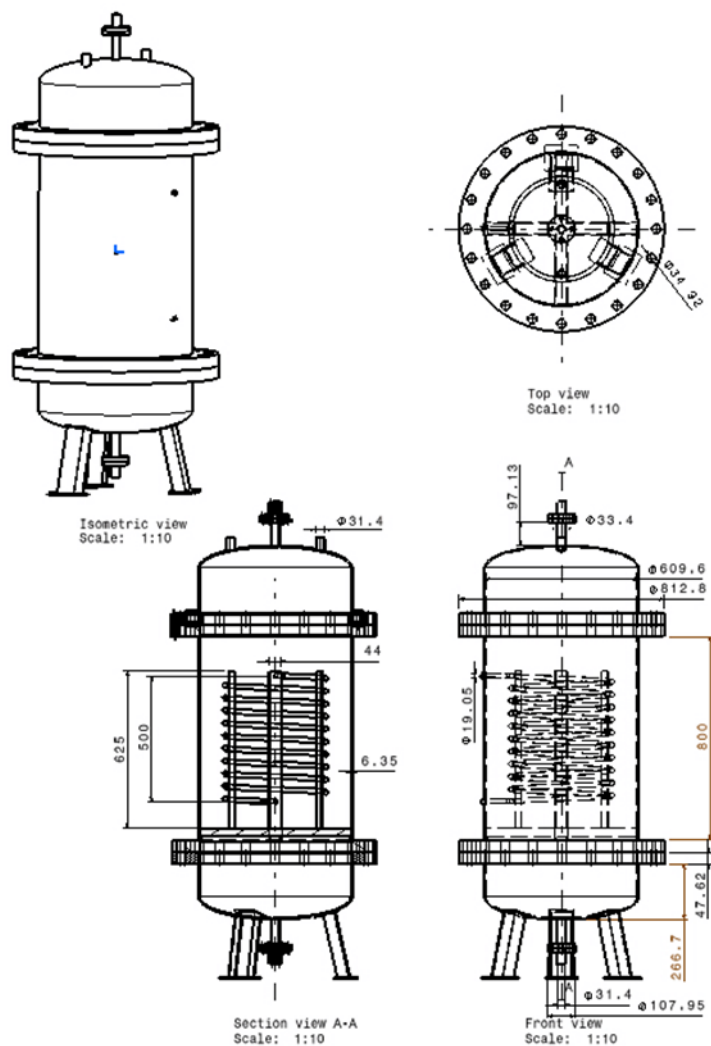
- Pipa *Stainless Steel* 304, \varnothing 609,6 mm (24 inci) tebal 6,35 mm (0,25 inci) atau Sch. 10
- *Cap Stainless Steel* 304 \varnothing 24 inci dengan

ketebalan 0,25 inci

- *Slip On Flanges Stainless Steel* 304 Sch. Class 150
- *Tube spiral Stainless Steel* 304 inside \varnothing 0,65 inci, outside \varnothing 0,75 inci
- *Hanger Tube spiral Stainless Steel* 304 panjang 625 mm



Gambar 4. Disain Kondensor



Gambar 5. Proyeksi Desain Kondensor Kompak

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah diperoleh dapat ditentukan spesifikasi komponen-komponen bagian dari kondensor kompak yang dapat dioperasikan pada tekanan 10 bar dan temperatur 90 °C (194 °F). Mengacu spesifikasi komponen yang telah didapatkan selanjutnya dapat dilakukan pembuatan gambar desain teknik komponen-komponen kondensor kompak seperti terlihat pada lampiran. Dengan adanya desain kondensor kompak memungkinkan pekerjaan perbaikan dan perawatan pada kondensor dapat dilakukan dengan mudah. Kegiatan perbaikan dan perawatan dapat berupa penggantian komponen atau pembersihan komponen. Hasil rancangan desain kondensor kompak yang telah didapat selanjutnya dapat dilakukan kegiatan pengujian secara simulasi menggunakan *software* CATIA untuk mengetahui kekuatan mekanik pada desain tersebut. Kemudian fabrikasi kondensor kompak dapat dilakukan jika hasil pengujian secara simulasi mendapatkan hasil yang memenuhi persyaratan keamanan dan keselamatan.

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, diperoleh desain kondensor kompak yang memenuhi persyaratan tekanan operasi 10 bar untuk dipasang pada Untai Uji BETA. Perancangan kondensor kompak terdiri dari pipa *stainless steel* 304 Ø 24 inchi sch. 10 panjang 800 mm, *cap stainless steel* 304 Ø 24 inchi dengan ketebalan 0,25 inchi, *slip on flanges*

stainless steel 304 sch. class 150, *Tube spiral Stainless Steel* 304 inside Ø 0,65 inchi, *outside Ø 0,75 inchi*, *Hanger Tube spiral Stainless Steel* 304 panjang 625 mm. Desain tersebut memungkinkan pekerjaan perbaikan dan perawatan pada kondensor dapat dilakukan dengan mudah. Namun demikian sebelum difabrikasi, desain kondensor kompak harus diuji secara simulasi menggunakan *software* CATIA sebelum digunakan pada Untai Uji BETA.

DAFTAR PUSTAKA

1. Handono, K., dkk., *Simulasi Fenomena Loca di Teras Reaktor Melalui Pemodelan Eksperimental. (II). Rancang Bangun Untai Uji BETA*, Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir V, Serpong, 2000.
2. Pinem, M. D., *CATIA Si Jago Desain Tiga Dimensi*, Kawah Media, Jakarta, 2009.
3. Sato, G. T., Sugiarto, N. H., *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1994.
4. Antaki, G.A., *Piping and Pipeline Engineering Design, Construction, Maintenance, Integrity and Repair*, Battelle Memorial Institute and Departement of Mechanical Engineering, The Ohio State University Columbus, Ohio, 1990.
5. Byrne, R. C., *Standards of The Tubuler Exchanger Manufacturers Association*, New York, 1988