



BAB IX

RANCANGAN PENAMBAHAN UNIT PLANT AIR KOMPRESOR PADA PT. KILANG PERTAMINA INTERNASIONAL RU-IV CILACAP

IX.1 Judul Tugas Khusus

Judul tugas khusus yang kami ambil adalah : Rancangan Penambahan Unit Plant Air Kompresor Pada PT. Kilang Pertamina Internasional RU-IV Cilacap

IX.2 Latar Belakang Masalah

Utilities RFCC (unit 156) kilang RU IV Cilacap adalah unit operasi yang salah satunya berfungsi sebagai unit yang memproduksi dan men-supply udara bertekanan Instrument Air (IA) dan Dry Plant Air (DPA) untuk memenuhi kebutuhan operasional di kilang RFCC.

Produksi udara bertekanan di utilities RFCC saat ini dihasilkan dari:

1. Kompresor 156-K-501AB untuk supply IA dengan spesifikasi:
 - a. Type : Integrally Geared Cent. Air Compressors (API 672)
 - b. Capacity : Nor.2182 Nm³/h - Rat. 2550 Nm³/h
 - c. Pressure : Suct 0.00 kg/cm²g — Disch. 9.00 kg/cm²g
 - d. Temperature : Suct. 37°C — Disch. 38°C
 - e. Power : 304 kW (motor 340kW)
 - f. Driver : A : Turbine — B : Motor
2. Kompresor 156-K-502AB untuk supply DPA dengan spesifikasi:
 - a. Type : Integrally Geared Cent. Air Compressors (API 672)
 - b. Capacity : Nor. 13818 Nm³/h - Rat. 15210 Nm³/h
 - c. Pressure : Suct 0.00 kg/cm²g — Disch. 9.00 kg/cm²g
 - d. Temperature : Suct. 37°C — Disch. 38°C
 - e. Power : 17524 kW
 - f. Driver : Steam Turbine

Selain IA dan DPA diperlukan juga supply Plant Air (PA), dimana PA digunakan juga digunakan menyuplai kebutuhan udara bertekanan pada beberapa equipment critical antara lain:



-
- a. Sealing Burner Aux. Boiler (151-B-501 A/B/C)
 - b. Diffuser Sludge PIT Clarifier (63 PIT 502).

Berdasarkan dokumen project RFCC No. RFCC-G-ME-VP-POB01-SP008 dan RFCC-G-156-PR-PF-001-A1 didapatkan kebutuhan supply untuk Clarifier sebesar 60 Nm³/hr dan Boiler sebesar 200 Nm³/hr per masing-masing boiler dengan back supply dari Compressor IA.

Pada perkembangan aktual kebutuhan operasional, penggunaan PA meningkat mendekati 3800 Nm³/hr. Hal ini menyebabkan compressor IA tidak reliable untuk memback-up kebutuhan PA.

Untuk saat ini telah dilakukan modifikasi untuk memback-up kebutuhan PA berasal dari compressor DPA yang pada kondisi design project RFCC (refer dokumen RFCC-G-156-PR-PI-103-A1) berstatus Normal No Flow menjadi continuous supply PA.

Perubahan sumber back-up PA masih menyisakan permasalahan isu kehandalan, dimana sejak pasca TA-2019, DPA UTL RFCC telah mengalami 3 kali kejadian trip. Kegagalan DPA melakukan supply ke PA berpotensi menyebabkan 3 aux boiler UTL RFCC akan trip bersamaan sehingga RFCC complex mengalami emergency shutdown.

IX.3 Tujuan

1. Mengkaji dan menganalisis rancangan design kompresor
2. Mengkaji dan menganalisis neraca panas kompresor
3. Mengkaji dan menganalisis line sizing kompresor

IX.4 Manfaat

Manfaat dari tugas khusus ini adalah untuk meninjau neraca panas dan line sizing kompresor sebagai pertimbangan dalam memberikan rekomendasi jumlah stage yang optimum.

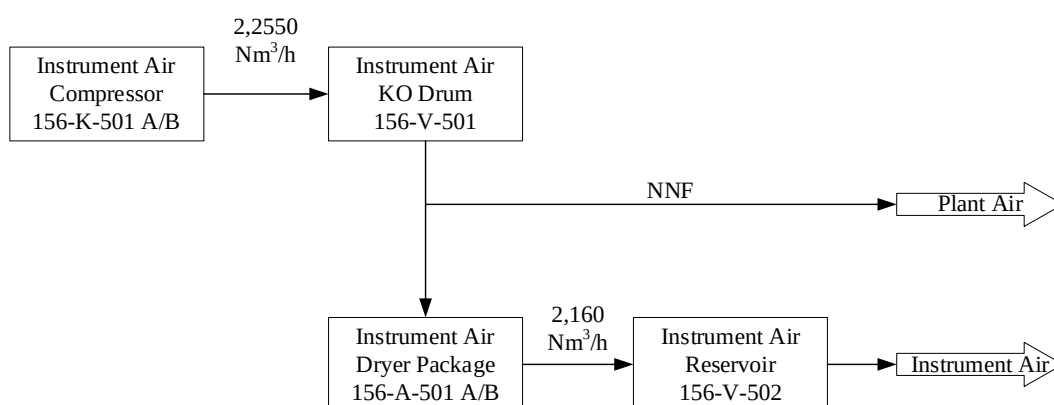
IX.5 Metode Pengumpulan Data

Kerja Praktik dilaksanakan secara langsung di Pertamina RU IV Cilacap. Pengumpulan data dalam rancangan penambahan unit plant air kompresor pada PT. Kilang Pertamina Internasional RU-IV Cilacap ini diperoleh dari:

1. Data Lapangan berupa data kapasitas, suhu masuk dan suhu keluar, serta tekanan masuk dan tekanan keluar pada masing-masing kompresor. Seluruh data yang dibutuhkan diperoleh dari pembimbing lapangan.
2. Data Desain berupa diagram aliran proses dan deskripsi proses dari Operating Manual Utility and Offsite Vol. 01 Cilacap Resid Fluid Catalytic Cracking (RFCC) Project PT. Kilang Pertamina Internasional RU-IV Cilacap
3. Buku Literatur berupa langkah-langkah perhitungan berdasarkan berbagai buku literatur

IX.6 Deskripsi Proses Unit Utilities RFCC (Unit 156)

IX.6.1 Deskripsi Proses *Instrument Air* dan *Plant Air*



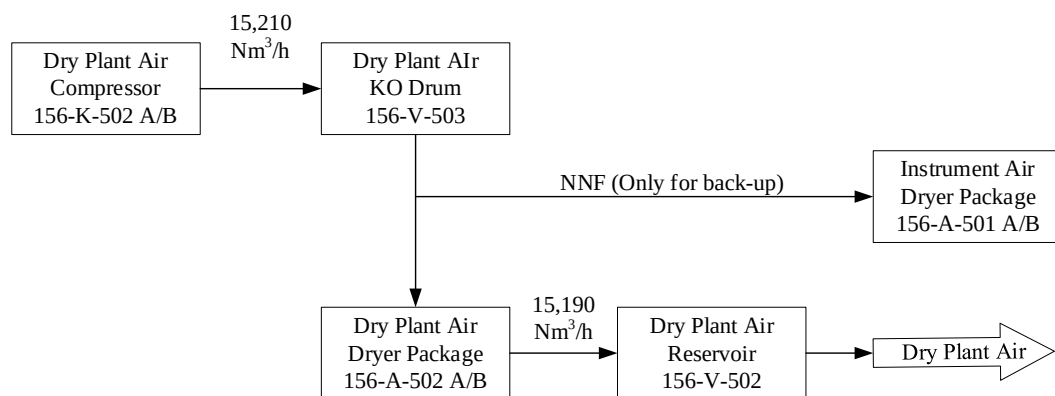
Gambar IX.1 Diagram Aliran Proses *Instrument Air* dan *Plant Air*

Dua *Air Compressor* (156-K-501A/B) termasuk *Coolers* (156-K-501A/B-E1/E2/E3) akan disediakan untuk memasok *Instrument Air* (IA) dan *Plant Air* (PA). Penggerak kompresor udara adalah satu turbin uap dan satu motor listrik. Satu kompresor udara secara nominal dioperasikan dan kompresor udara lainnya *standby*. Setiap kompresor udara dirancang untuk memasok jumlah yang cukup (2160 Nm³/hr) PA dan IA.

Plant Air (PA) dari 156-K-501A/B disimpan di *Instrument Air K.O Drum* (156-V-501) dan dari sana didistribusikan, di bawah kontrol tekanan (156-PCV-014, Set @ 7,7 kg/cm²g, melalui *headers* ke Prime G+ Unit, system *Sea Water Intake*, dan *Hose Station* untuk semua unit.

Beberapa bagian *Plant Air* ditransfer melalui *dryer package* untuk menghasilkan udara instrumen dengan *dew point* -40°C (maks) pada $7\text{ kg/cm}^2\text{g}$. Dua *Air Dryer Packages* Instrumen (156-A-501A/B) yang menggunakan alumina aktif sebagai pengering yang disediakan. Satu paket termasuk dua pengering IA on-line, satu lagi dalam mode regenerasi, dan dua pengering lainnya dalam keadaan siaga. Perubahan dan regenerasi 156-A-501A/B akan dilakukan secara otomatis. Udara instrumen dari *dryer package* disimpan di Instrument Air Reservoir (156-V-502) dan dari sana didistribusikan melalui header distribusi IA.

IX.6.2 Deskripsi Proses Dry Plant Air



Gambar IX.2 Diagram Aliran Proses Dry Plant Air

Dua Kompresor *Dry Plant Air* (156-K-502A/B) termasuk *Coolers* (156-K-502A/BE1/E2/E3) akan disediakan untuk memasok *Dry Plant Air* (Dry PA). Kompresor udara digerakkan oleh turbin. Satu kompresor udara dalam operasi normal dan kompresor udara lainnya siaga. *Plant air* dari debit kompresor dipindahkan melalui pengering untuk menghasilkan *yield dry plant air* dengan *dew point* 0°C (maks).

Dua Paket *Dry Plant Air* (156-A-502A/B) disediakan. Satu paket termasuk dua *Dry Plant Air Dryer* dengan dua Dry PA Dryer Inlet Filter dan dua Dryer PA Dryer Outlet Filter. Satu pengering Dry PA on-line. Satu lagi dalam mode regenerasi, dan dua pengering lainnya dalam keadaan siaga. Perubahan dan regenerasi pengering akan dilakukan secara otomatis. Dry PA dari *dryer package* disimpan di *Dry PA Reservoir* dan didistribusikan melalui header distribusi Dry PA



ke Unit RFCC dan Unit Merox LPG. Untuk operabilitas, debit. kompresor udara *dry plant* dan kompresor *instrument air* terhubung.

IX.7 Analisis Neraca Panas Komresor

Perhitungan yang digunakan untuk menganalisa neraca panas kompresor diantaranya:

1. Persamaan panas untuk kondisi aliran steady; $Q = \Delta H = H_2 - H_1$
$$\Delta H = m \times C_p \times \Delta T = m \int_{T_{ref}}^T C_p \times \Delta T \quad \dots (1) \quad \text{(Himmelblau; 386)}$$

Heat capacity

$$C_p = A + B.T + C.T^2 + D.T^3 + E.T^4 \quad \dots (2) \quad \text{(Yaws, Chapter 2)}$$

dengan C_p = Spesific heat (kJ/kmol.K)

T = Suhu bahan (K)

A,B,C,D,E = Konstanta

$$\Delta H = m \int_{T_{ref}}^T C_p \times \Delta T \quad \dots (3)$$

$$\Delta H = m \times \left[A(T - T_{ref}) + \frac{B}{2}(T^2 - T_{ref}^2) + \frac{C}{3}(T^3 - T_{ref}^3) + \frac{D}{4}(T^4 - T_{ref}^4) + \frac{E}{5}(T^5 - T_{ref}^5) \right] \quad \dots (4)$$

dengan ΔH = Panas (kJ)

m = Berat bahan (kmol)

C_p = Specific heat (kJ/kmol.K)

T_{ref} = Suhu reference (K)

T = Suhu bahan (K)

A,B,C,D,E = Konstanta



2. Estimasi C_p dengan Metode Hurst dan Harrison (**Perry 7^{ed}, 2-351**)

$$C_p = \sum_{i=1}^n N_i \Delta_{Ei} \quad \dots (5)$$

dengan Δ_{Ei} = Nilai kontribusi unsur i
 N_i = Jumlah unsur i dalam senyawa
 C_p = Specific heat (kJ/kmol.K)

$$C_p = C_v - R \quad \dots (6)$$

dengan C_p = Specific heat (kJ/kmol.K)
 C_v = Specific heat (kJ/kmol.K)
 R = Konstanta (8,3145 kJ/kmol.K)

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad \dots (7) \quad (\text{Smith Van Ness, hal 71})$$

dengan γ = **rasio kapasitas panas spesifik**
 C_p = Specific heat (kJ/kmol.K)
 C_v = Specific heat (kJ/kmol.K)

$$m = \frac{\gamma - 1}{\gamma} \quad \dots (8)$$

$$T_2 = T_1 \times \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^m \quad \dots (9)$$

dengan T_1 = Suhu awal (K)
 T_2 = Suhu akhir (K)
 P_1 = Tekanan awal (atm)
 P_2 = Tekanan akhir (atm)

3. Menghitung W kompresi ... (10)

$$W_{\text{kompresi}} = H_{\text{keluar}} - H_{\text{masuk}}$$



IX.8 Analisis Line Sizing Kompresor

Perhitungan yang digunakan untuk menganalisa neraca panas kompresor diantaranya:

1. Volumetric flow

$$Q = \frac{v}{\rho} \quad \dots (11)$$

dengan	Q	=	Flow rate volumetric (m ³ /s)
	v	=	Kecepatan aliran (kg/s)
	ρ	=	Densitas (kg/m ³)

2. Fluid velocity

$$s = \frac{\frac{Q}{A}}{3600} \quad \dots (12)$$

dengan	s	=	Kecepatan aliran rata-rata (m/s)
	Q	=	Flow rate volumetrik (m ³ /s)
	A	=	Luas penampang (m ²)

3. Reynolds Number

$$Re = \frac{\rho \times d \times V}{\mu} \quad \dots (13) \text{ (McCabe, 1993)}$$

dengan	Re	=	Bilangan Reynold
	ρ	=	Densitas (kg/m ³)
	d	=	Diameter pipa (m)
	V	=	Kecepatan fluida (m/s)
	μ	=	Viskositas (kg/m.s)

4. Friction factor

$$f = \frac{Roughness}{ID} \quad \dots (14) \text{ (API R14E)}$$

dengan	f	=	Faktor kekasaran relative
	roughness	=	Kekasaran permukaan (m)
	ID	=	Diameter dalam pipa (m)



5. Colebrook equation

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left| \left(\frac{e}{3,7D} \right) + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right| \quad \dots (15) \text{ (Menon, 2015)}$$

dengan	f	=	Faktor gesekan Darcy
	e	=	Kekasaran absolut permukaan (m)
	D	=	Diameter dalam pipa (m)
	Re	=	Bilangan Reynolds

6. Pressure drop

$$\Delta P = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{\rho}{gc} \right) \left(\frac{V^2}{2} \right) \quad \dots (16) \text{ (McCabe, 1993)}$$

dengan	ΔP	=	Pressure drop (N/m ²)
	f	=	Faktor gesekan Darcy
	LD	=	Panjang pipa (m)
	ρ	=	Densitas fluida (kg/m ³)
	G_c	=	Densitas fluida (kg/m ³)
	V	=	Konstanta gravitasi (m/s ²)
		=	Kecepatan fluida (m/s)

IX.9 Hasil dan Pembahasan

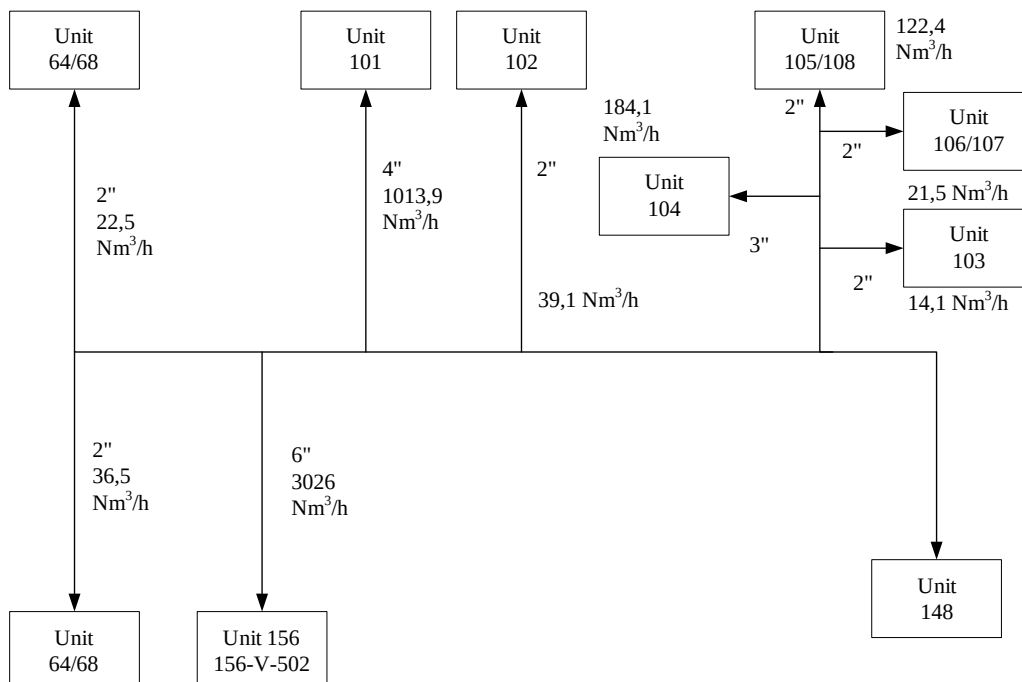
Rancangan penambahan unit plant air kompresor ini menggunakan data *Feasibility Study* PT. Kilang Pertamina Internasional RU-IV Cilacap. Adapun data yang disajikan merupakan data yang akan diolah untuk simulasi dengan software UniSim Design dan menghitung analisa neraca panas dan line sizing kompresor. Hasil perhitungan pada software akan dibandingkan dengan perhitungan excel untuk melihat kinerja dari kompresor.

Kompresor 156-K-501/502 alat yang digunakan untuk meningkatkan tekanan udara jenis sentrifugal. Existing Unit plant DPA RFCC dilengkapi dengan 2 buah compressor (Cap. Nor. 13.818 Nm³/h - Rat. 15.210 Nm³/h) dengan pola operasi (N+1). Driver kompresor DPA kedua-duanya menggunakan steam turbin. Steam turbin ini untuk starting awal diperlukan pre-heat selama ± 10 menit 15 menit, jeda waktu yang cukup lama dan dapat menyebabkan slowdown unit.

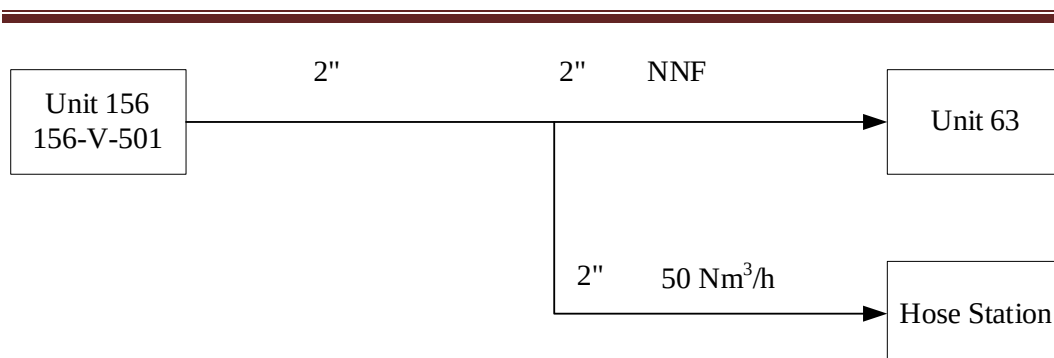
Pada case terjadinya gangguan supply PA dan DPA saat kompresor DPA mengalami permasalahan, alternative backup yang dilakukan saat ini adalah dengan melakukan sewa kompresor dari pihak ke-tiga selama troubleshooting / repair / Overhaul main DPA Pemenuhan kebutuhan PA saat ini disupply dari flow sisa DPA Compressor. Secara desain awal kebutuhan PA kecil dimana untuk ke Clarifier sebesar 60 Nm³/hr dan Boiler sebesar 200 Nm³/hr per masing-masing boiler dan PA di supply dari back supply dari Compressor IA.

Pada perkembangan aktual kebutuhan operasional, penggunaan PA meningkat mendekati 3800 Nm³/hr. Hal ini menyebabkan kompresor IA tidak reliable untuk memback-up kebutuhan PA. Sehingga jika kompresor DPA bermasalah maka supply PA juga akan terhenti.

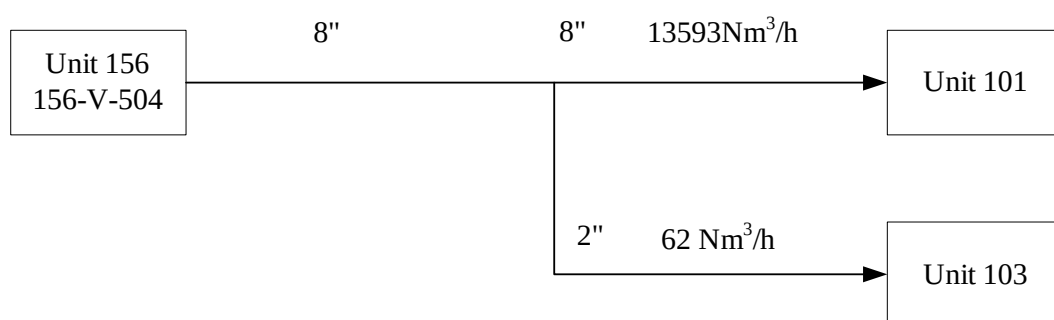
Untuk menjaga kehandalan supply PA maka diperlukan sumber PA yang independent, disamping itu kompresor PA juga dapat dimanfaatkan sebagai back-up kompresor DPA dan IA saat terjadi emergency / dibutuhkan perbaikan. Berikut adalah skema dari distribusi sistem *Instrument Air*, *Plant Air*, dan *Dry Plant Air*.



Gambar IX.3 Skema Aliran Sistem *Instrument Air*



Gambar IX.4 Skema Aliran Sistem *Plant Air*



Gambar IX.5 Skema Aliran Sistem *Dry Plant Air*

Berikut adalah data operasional Kompresor 156-K-501/502 pada sistem *Instrument Air*, *Plant Air*, dan *Dry Plant Air*.

Tabel IX.1 Data Operasional Kompresor 156-K-501/502

Service		Plant Air (PA)	Instrument Air (IA)	Dry Plant Air (DPA)
Pressure (kg.cm2g)	Nor	7,0	7,0	7,0
	Max	8,3	8,0	8,3
	Min	6,9	5,0	6,9
	Design	11,0	10,5	11,0
Temperature (°C)	Nor	38	38	38
	Max	48	48	48
	Min	30	30	30
	Design	68	68	68
Humidity		Saturated	Dew Point, - 40°C max	Dew Point, 0°C max



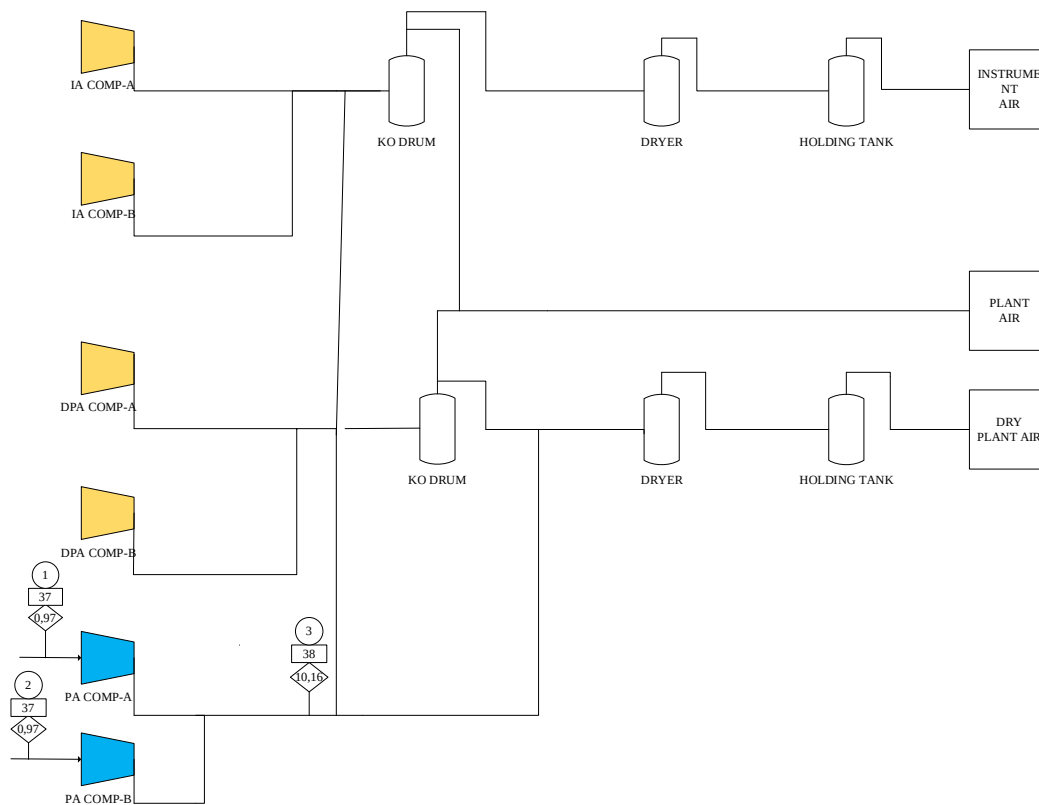
IX.9.1 Tinjauan Rancangan Design Kompresor

Rancangan desain sistem kompresor untuk penambahan unit plant air kompresor di PT. Kilang Pertamina Internasional RU-IV Cilacap mencakup dua elemen utama, yaitu **Process Flow Diagram (PFD)** dan **Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)**. Selain itu, validasi desain dilakukan melalui simulasi menggunakan software UniSim Design untuk memastikan kelayakan teknis dan operasional. Berikut adalah pembahasan untuk masing-masing aspek.

A. Process Flow Diagram (PFD)

PFD merupakan representasi awal aliran proses utama dalam sistem kompresor, yang menunjukkan hubungan antara peralatan utama tanpa detail terkait kontrol dan instrumen. Elemen-elemen utama dalam PFD rancangan ini mencakup:

1. **Paket Kompresor:** Kompresor dua atau tiga tahap (dengan intercooler di antara tiap tahap).
2. **KO Drum:** Diposisikan setelah intercooler untuk menangkap cairan atau kondensat sebelum udara masuk ke dryer.
3. **Dryer:** Berfungsi untuk mengurangi kadar kelembaban udara
4. **Holding Volume:** Tangki penyimpanan udara tekan sementara untuk menstabilkan aliran sebelum didistribusikan ke unit-unit.



Gambar IX.6 Process Flow Diagram Unit Utilities RFCC

B. Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)

P&ID memberikan detail lebih lanjut tentang aliran proses, koneksi pipa, dan instrumen kontrol. Diagram ini menambahkan informasi terkait sensor, katup, dan kontrol yang digunakan dalam sistem. **Umumnya komponen utama yang ditampilkan dalam P&ID diantaranya ada:**

1. Instrumen dan Sensor

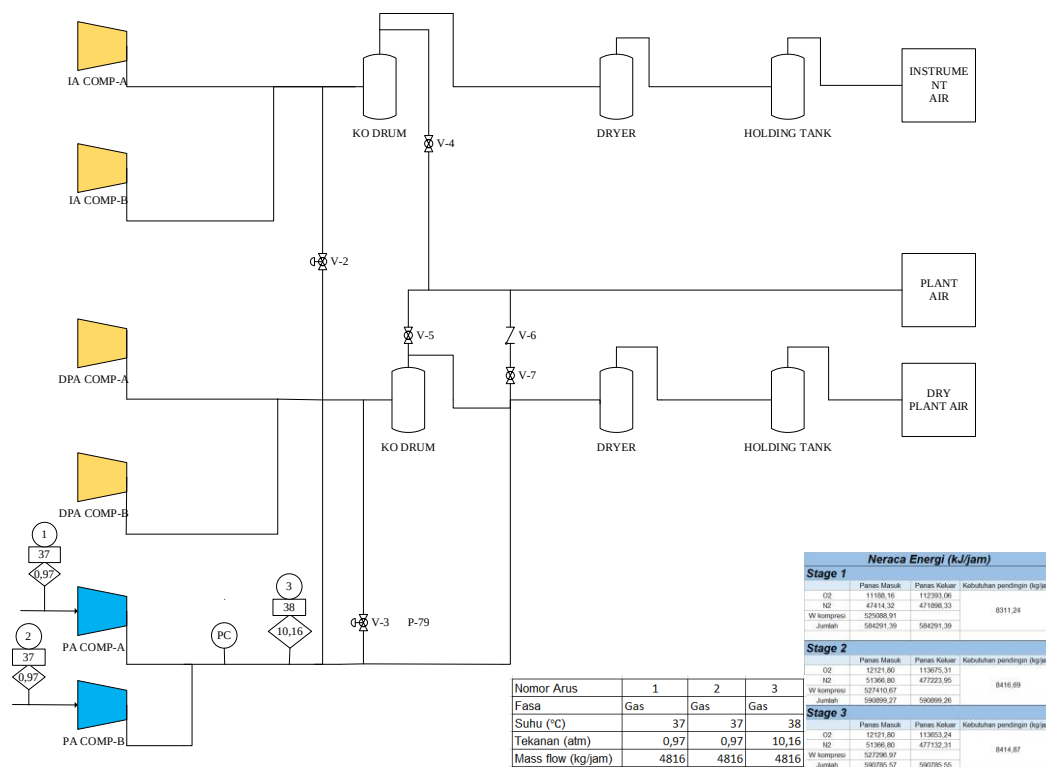
- Tekanan: *Pressure Gauge (PG)*, *Pressure Transmitter (PT)*.
- Suhu: *Temperature Indicator (TI)*, *Temperature Transmitter (TT)*.

2. Katup dan Perangkat Pengaman

- Pressure Relief Valve (PRV)* untuk melindungi sistem dari tekanan berlebih.
- Manual Valve (MV)* untuk isolasi sistem selama pemeliharaan.

3. Sistem Kontrol

- a. *Programmable Logic Controller (PLC)* atau DCS (Distributed Control System) untuk mengotomasi operasi kompresor dan pendingin.

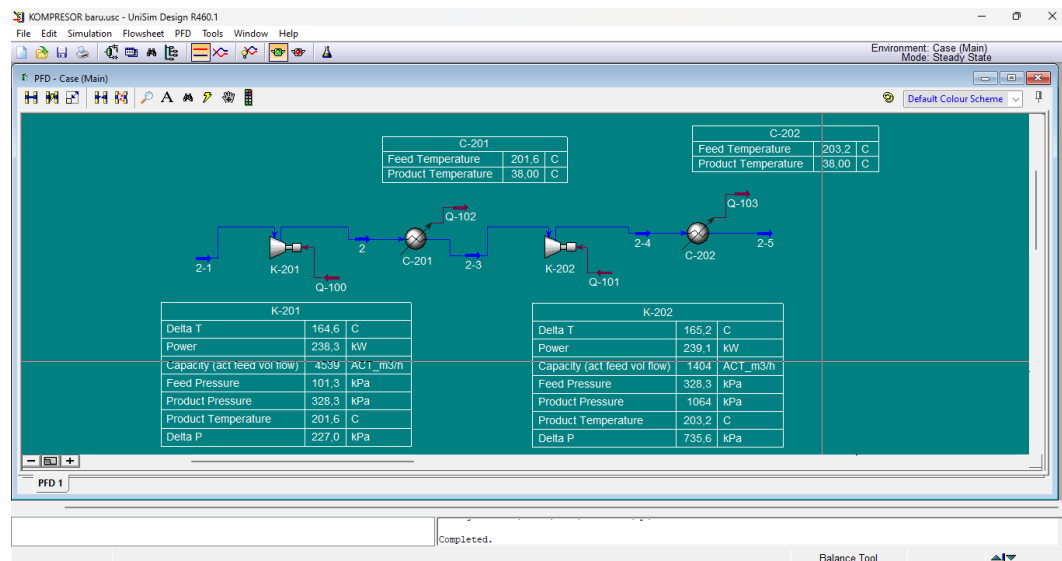


Gambar IX.7 Piping and Instrumentation Diagram Unit Utilities RFCC

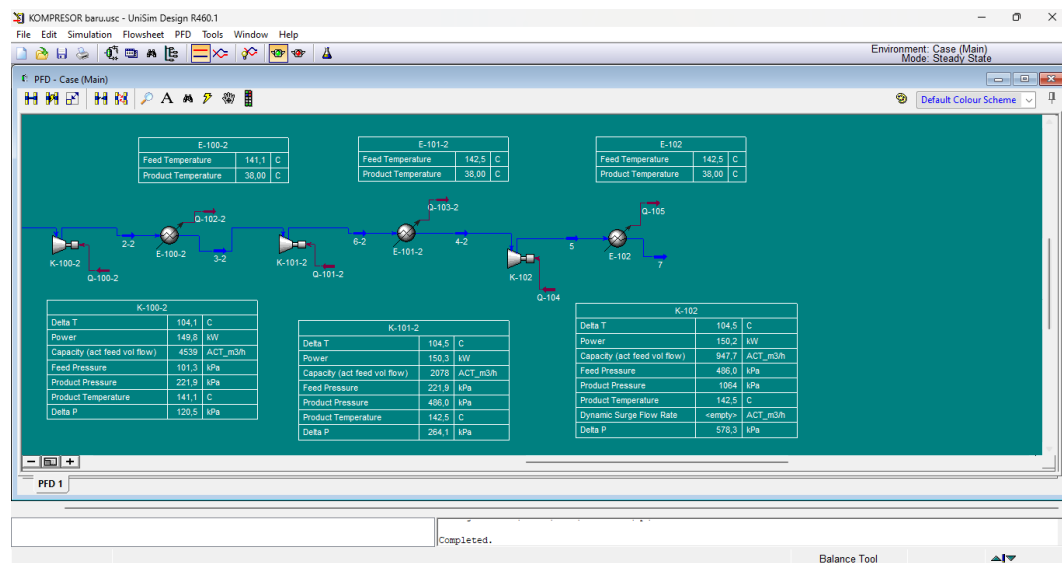
C. Validasi Desain dengan UniSim Design

Software UniSim Design digunakan untuk melakukan validasi terhadap parameter operasi, seperti tekanan, suhu, laju aliran udara, dan kebutuhan daya kompresor. Selain itu, simulasi ini membantu memastikan integrasi antar komponen dalam sistem bekerja sesuai spesifikasi. Diagram simulasi dari UniSim Design mencakup:

1. Model sistem kompresor yang divisualisasikan, termasuk aliran udara, kondisi operasi (tekanan dan suhu), dan energi yang digunakan.
2. Hasil simulasi berupa laporan data keluaran, seperti kebutuhan daya (kW) dan efisiensi sistem.



Gambar IX.8 Simulasi UniSim Design Kompresor 2 Stage



Gambar IX.9 Simulasi UniSim Design Kompresor 3 Stage

IX.9.2 Tinjauan Neraca Panas Kompresor

Analisis neraca panas dalam perancangan unit plant air kompresor dilakukan untuk memastikan efisiensi termal dan operasional kompresor. Neraca panas bertujuan untuk mengetahui distribusi energi dalam sistem, mencakup energi masuk (input), energi keluar (output), serta kerugian panas selama proses kompresi. Berdasarkan data operasional yang diperoleh dari PT. Kilang Pertamina



Internasional RU-IV Cilacap, berikut adalah parameter utama yang digunakan dalam perhitungan neraca panas:

1. Tekanan masuk : 1 kg/cm²g
2. Tekanan keluar : 9 kg/cm²g
3. Temperatur masuk : 37°C
4. Temperatur keluar : 38°C
5. Laju aliran massa udara : 4000 Nm³/h

A. Kompresor Dua Stage

Berikut hasil perhitungan neraca panas kompresor dua stage:

1. Kompresor 1

Panas Masuk (kJ/jam)		Panas Keluar (kJ/jam)	
O ₂	11188,1628	O ₂	176878,6441
N ₂	47414,3159	N ₂	738114,0535
W kompresi	856390,2189		
TOTAL	914992,6976	TOTAL	914992,6976

2. Cooler 1

Kebutuhan air pendinginan = 13588,7350 kJ/jam

Panas Masuk (kJ/jam)		Panas Keluar (kJ/jam)	
O ₂	176878,6441	O ₂	12121,7975
N ₂	738114,0535	N ₂	51366,7909
		Q serap	851504,1092
TOTAL	914992,6976	TOTAL	914992,6976

3. Kompresor 2

Panas Masuk (kJ/jam)		Panas Keluar (kJ/jam)	
O ₂	12121,7975	O ₂	178382,4287
N ₂	51366,7909	N ₂	744283,5514
W kompresi	859177,3917		
TOTAL	922665,9801	TOTAL	922665,9801



4. Cooler 2

Kebutuhan air pendingin = 13711,1892 kJ/jam

Panas Masuk (kJ/jam)		Panas Keluar (kJ/jam)	
O ₂	178382,4287	O ₂	12121,7975
N ₂	744283,5514	N ₂	51366,7909
		Q serap	859177,3917
TOTAL	922665,9801	TOTAL	922665,9801

Total kerja kompresor	=	476,5466	Kw
kebutuhan air pendingin	=	27299,9242	kg/jam

B. Kompresor Tiga Stage

Berikut hasil perhitungan neraca panas kompresor tiga stage:

1. Kompresor 1

Panas Masuk (kJ/jam)		Panas Keluar (kJ/jam)	
O ₂	11188,1628	O ₂	112393,0601
N ₂	47414,3159	N ₂	471898,3271
W kompresi	525688,9085		
TOTAL	584291,3872	TOTAL	584291,3872

2. Cooler 1

Kebutuhan air pendingin = 8311,2356 kJ/jam

Panas Masuk (kJ/jam)		Panas Keluar (kJ/jam)	
O ₂	112393,0601	O ₂	12121,7975
N ₂	471898,3271	N ₂	51366,7909
		Q serap	520802,7988
TOTAL	584291,3872	TOTAL	584291,3872



3. Kompresor 2

Panas Masuk (kJ/jam)		Panas Keluar (kJ/jam)	
O ₂	12121,7975	O ₂	113675,3097
N ₂	51366,7909	N ₂	477223,9453
W kompresi	527410,6665		
TOTAL	590899,2550	TOTAL	590899,2550

4. Cooler 2

Kebutuhan air pendingin = 8416,6873 kJ/jam

Panas Masuk (kJ/jam)		Panas Keluar (kJ/jam)	
O ₂	113675,3097	O ₂	12121,7975
N ₂	477223,9453	N ₂	51366,7909
		Q serap	527410,6665
TOTAL	590899,255	TOTAL	590899,255

5. Kompresor 3

Panas Masuk (kJ/jam)		Panas Keluar (kJ/jam)	
O ₂	12121,7975	O ₂	113653,2445
N ₂	51366,7909	N ₂	477132,3123
W kompresi	527296,9684		
TOTAL	590785,5568	TOTAL	590785,5568

6. Cooler 3

Kebutuhan air pendingin = 8414,8728 kJ/jam

Panas Masuk (kJ/jam)		Panas Keluar (kJ/jam)	
O ₂	113653,2445	O ₂	12121,79752
N ₂	477132,3123	N ₂	51366,79093
		Q serap	527296,9684
TOTAL	590785,5568	TOTAL	590785,5568



Total kerja kompresor	=	438,9990	Kw
kebutuhan air pendingin	=	25142,7957	kg/jam

Berdasarkan analisis dan perhitungan neraca panas pada rancangan penambahan unit plant air kompresor di PT. Kilang Pertamina Internasional RU-IV Cilacap, Pada kompresor dua stage, hasil perhitungan manual menggunakan Excel menunjukkan total kerja sebesar 476,5466 kW dengan kebutuhan air pendingin sebesar 27.299,9242 kJ/jam, sedangkan hasil dari software UniSim Design menghasilkan total kerja 477,4 kW dan kebutuhan air pendingin 26.660 kJ/jam. Selisih nilai antara kedua metode adalah 0,18% untuk total kerja dan 2,34% untuk kebutuhan air pendingin, menunjukkan hasil yang sangat konsisten. Pada kompresor tiga stage, hasil perhitungan manual menggunakan Excel menunjukkan total kerja sebesar 438,999 kW dengan kebutuhan air pendingin sebesar 25.142,7957 kJ/jam, sedangkan hasil dari software UniSim Design menghasilkan total kerja 450,3 kW dan kebutuhan air pendingin 25.156 kJ/jam. Selisih nilai antara kedua metode adalah 2,57% untuk total kerja dan 0,05% untuk kebutuhan air pendingin, juga menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat baik.

Metode perhitungan awal menggunakan excel yang kemudian dilakukan validasi hasil perhitungannya menggunakan software UniSim. Kompresor tiga stage membutuhkan total kerja yang lebih rendah (438,999 kW dari perhitungan Excel dan 450,3 kW dari UniSim Design) dibandingkan kompresor dua stage (476,5466 kW dari Excel dan 477,4 kW dari UniSim Design). Perbedaan kerja pada kompresor dua stage dan tiga stage dikarenakan kompresor dua stage rasio kompresi total dibagi menjadi dua tahapan dengan rasio kompresi sebesar 3,2 sedangkan kompresor tiga stage rasio kompresi total dibagi menjadi tiga tahapan yaitu sebesar 2,19, dengan intercooling lebih sering dilakukan, sehingga suhu dan tekanan di setiap tahapan lebih terkontrol. Kompresor dua stage memiliki jumlah tahapan lebih sedikit, setiap tahapan memiliki rasio kompresi yang lebih besar yaitu sebesar 3,2. Akibatnya, suhu akhir kompresi meningkat, sehingga kerja kompresor dan bahan bakar yang diperlukan juga lebih tinggi. Kompresor tiga stage memiliki lebih banyak tahapan, rasio kompresi per tahap lebih kecil yaitu bernilai 2,19, suhu



setelah setiap tahap kompresi lebih rendah karena intercooling, sehingga total kerja menjadi lebih rendah. Kebutuhan air pendingin pada kompresor tiga stage juga lebih rendah (25.142,7957 kJ/jam dari Excel dan 25.156 kJ/jam dari UniSim Design) dibandingkan dengan kompresor dua stage (27.299,9242 kJ/jam dari Excel dan 26.660 kJ/jam dari UniSim Design). Hal ini menunjukkan bahwa kompresor tiga stage menghasilkan panas kompresi yang lebih rendah ini karena rasio kompresinya yang berbeda jadi kerja kompresor stage tiga lebih ringan. Kenaikan pressure tiga stage lebih landai pendingin yang dibutuhkan juga lebih sedikit, sehingga lebih optimum dari segi kebutuhan pendinginan.

Berdasarkan hasil perhitungan, kompresor tiga stage lebih disarankan untuk digunakan pada rancangan penambahan unit plant air kompresor. Hal ini didasarkan pada :

1. Berdasarkan nilai persen efisiensi kompresor pada UniSim total kerja kompresor yang dibutuhkan lebih sedikit.
2. Kebutuhan air pendingin yang lebih rendah, yang dapat mengurangi beban sistem pendingin serta menekan biaya operasional.

Oleh karena itu, rancangan sistem kompresor tiga stage memberikan solusi yang lebih optimal dari segi efisiensi energi dan kebutuhan pendinginan, sehingga dapat mendukung operasi yang lebih berkelanjutan dan ekonomis di PT. Kilang Pertamina Internasional RU-IV Cilacap.

IX.9.3 Tinjauan Line Sizing Kompresor

Line sizing merupakan langkah penting dalam desain sistem pipa kompresor untuk memastikan efisiensi aliran fluida, menekan kerugian pressure drop, dan mengurangi potensi masalah operasional seperti turbulensi atau getaran. Pada rancangan ini, dilakukan analisis *line sizing* dari unit kompresor. Data operasional yang digunakan dalam analisis line sizing adalah sebagai berikut:

1. Tekanan masuk : 1 kg/cm²g
2. Tekanan keluar : 9 kg/cm²g
3. Temperatur masuk : 37°C
4. Temperatur keluar : 38°C



-
5. Laju aliran massa udara : 4000 Nm³/h
 6. Kepadatan udara (ρ): 1,0932 kg/m³
 7. Viskositas udara (μ): 0,018 cP

Berdasarkan hasil perhitungan analisis *line sizing* kompresor dengan uji coba diameter pipa standar 10 inch (STD 10 in), didapatkan nilai kerugian tekanan spesifik sebesar $\Delta P/100=0,4772$ MPa. Hal ini menunjukkan bahwa metode perhitungan manual dengan Excel dapat diandalkan untuk analisis awal desain pipa, terutama pada tahap konsep atau estimasi. Nilai pressure drop spesifik $\Delta P/100=0,4772$ MPa menunjukkan bahwa pipa berdiameter 10 inch menghasilkan pressure drop yang masih dalam batas toleransi sistem untuk pengoperasian kompresor. Meskipun nilai ini dapat diterima, terdapat potensi optimasi pada diameter pipa yang lebih besar untuk mengurangi pressure drop lebih lanjut jika sistem memungkinkan. Hasil analisis menunjukkan bahwa diameter pipa 10 inch dengan nilai pressure drop spesifik $\Delta P/100=0,4772$ MPa memenuhi kriteria teknis dan operasional sistem. Pipa 10 inch sebagai opsi desain yang optimal untuk mendukung operasi kompresor secara efisien dan ekonomis di PT. Kilang Pertamina Internasional RU-IV Cilacap.