

## EXCESSIVE AXIAL DISPLACEMENT SEBAGAI EFEK KERUSAKAN LABYRINTH INTERSTAGE PADA HIGH PRESSURE SYN GAS COMPRESSOR PABRIK AMMONIA PUSRI IV

N.L. Yadi<sup>1\*</sup>, A. Saggaf<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PT. Pupuk Sriwidajaja Palembang, Palembang

<sup>2</sup> Universitas Sriwijaya, Palembang

Corresponding author: nirwanlyz@gmail.com

**ABSTRAK:** Pengetahuan dan pemahaman atas kondisi operasional peralatan berputar diperlukan untuk menganalisa sebab – sebab terjadinya ketidak idealan performance alat itu sendiri. Pada kompresor sentrifugal, cukup banyak potensi – potensi penyebab terganggunya fungsi alat dan atau performance alat. Pengambilan keputusan untuk menghentikan alat sangat kritikal terkait kelangsungan suatu proses produksi. Diperlukan kejelasan atau setidaknya kemungkinan yang dominan terkait penyebab kondisi tidak normal yang terjadi dan tindak lanjut dari proses penghentian suatu proses produksi. Tindak lanjut perbaikan yang terarah, baik dari segi teknis pekerjaan dan tentu saja jadwal yang presisi.

**Kata Kunci:** Axial Displacement, Centrifugal Compressor, Rotating Equipment

**ABSTRACT:** Knowledge and understanding of the operational conditions of rotating equipment is needed to analyze the causes of the non-ideal performance of the equipment itself. In centrifugal compressors, there are quite a lot of potential causes of disruption to equipment function and/or performance. Making the decision to stop equipment is very critical regarding the continuity of a production process. Clarity, or at least the dominant possibility, is needed regarding the causes of abnormal conditions that occur and follow-up to the process of stopping a production process. Directed follow-up improvements, both in terms of technical work and of course a precise schedule.

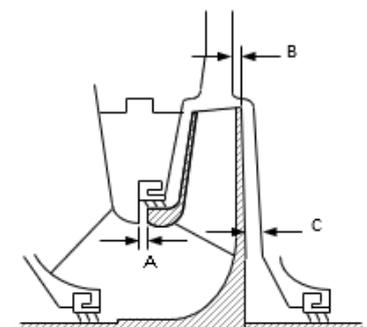
**Keywords:** Axial Displacement, Centrifugal Compressor, Rotating Equipment

### PENDAHULUAN

Bearing axial/Thrust bearing pada sebuah peralatan berputar, dalam hal ini Centrifugal Compressor, merupakan komponen yang berfungsi untuk menahan sisa beban axial pada saat kompresor beroperasi (berputar). Kelebihan beban aksial (Excessive Axial Displacement) yang terjadi pada kompresor sentrifugal beresiko tinggi merusak Thrust Bearing ini. Kegagalan bearing ini selanjutnya akan berimbas kepada kerusakan yang lebih besar, yaitu kerusakan inner parts kompresor yang lebih vital seperti Thrust disc (pada type tertentu menjadi bagian dari shaft), impeller, body stator dll. Kerusakan tersebut akan membebani biaya perbaikan, menyebabkan peralatan menjadi stand by atau tidak dapat beroperasi, dan yang lebih merugikan lagi, kerusakan pada peralatan critical yang tidak ada unit penggantinya akan menghentikan kegiatan operasional keseluruhan system (pabrik) sehingga proses produksi terhenti. Oleh karenanya pada peralatan modern dipasang alat instrument untuk merekam dan memberi peringatan atas

kondisi abnormal dari beban axial tersebut sehingga kerusakan yang lebih massive dapat dihindarkan.

Pada umumnya yang memicu excessive axial displacement tersebut secara teknis instalasi rotor, terjadi karena tidak sesuai pengukuran posisi rotor terhadap stator yang mana hal tersebut menjadikan posisi rotor tidak berada pada posisi tengah atau ideal yang sesuai dengan design engineering dari OEM.



Gambar 1. Rotor Position Target (MHI, Inspection check list for HP Compressor 5V-7C)

Seperti yang terlihat pada Gambar 1 di atas, terdapat dimensi pada poin A, B, dan C yang oleh OEM telah ditetapkan sebagai nilai target yang harus dipenuhi sebagai panduan ukuran pada waktu proses setting rotor. “Setiap personil teknisi rotating spesialis kompresor (sentrifugal kompresor) telah memahami hal ini.”

Penyetingan Kompresor

Berdasarkan teori yang umum dipakai, para engineer kompresor telah menentukan desain yang paling aman untuk keselamatan rotor selama beroperasi agar tidak mengalami kegagalan, dalam hal ini kegagalan akibat Excessive Axial Displacement (EAD)

Design tersebut meliputi suaian – suaian yang harus diperiksa oleh para teknisi pada saat proses inspeksi alat. Suaian tersebut antara lain adalah : Posisi rotor terhadap stato (gambar 1), Suaian *labyrinth seal interstage (shaft seal, eye impeller seal)* dan balance piston, suaian bearing aksial (thrust bearing), perhitungan jarak hub to hub coupling (berkaitan dengan beban/tarikan coupling saat running).

Suaian – suaian di atas umumnya dapat ditemui di dalam manual books yang di supply oleh pabrikan/OEM. Namun ada juga ditemui data – data suaian tidak lengkap diberikan oleh manufaktur. Suaian yang diberikan oleh OEM pada Compressor F4A-103JHP dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Clearance Centrifugal Compressor HP Case F4A-103J (Clark – Dresser, Rev-1 1991, Service Manual Equipment 2BC9 & 2BF9-8 Centrifugal Compressor for Synthesis Gas Service)

DIAMETERS & CLEARANCES		SPECIFICATIONS	
<b>High Stage 2BF9-8 Compressor</b>			
Refer to drawings 012-489, 011-817 and 012-960, PARTS LISTS Section, for illustration of components.			
Component	Diameters (a)	Clearances (b)	
<b>THRUST &amp; JOURNAL BEARINGS, Dwg. 011-817</b>			
Journal bearings, 5 shoes/assembly (c)	104.775	0.127	to 0.165
Journal bearing shoe thickness (d)	-----	18.961	to 18.998
Insert liner, bearing cage & cover	104.775	0.432	to 0.572
Thrust bearing, total axial	-----	0.381	to 0.559
Thrust disc interference fit to shaft	95.250	0.038	to 0.013
Seal ring, thrust bearing	104.775	0.127	to 0.229
<b>INNER OIL SEALS, Dwg. 012-960</b>			
Inner labyrinth	142.875	0.203	to 0.305
Inner seal ring	114.300	0.051	to 0.076
Middle seal ring	114.300	0.140	to 0.165
Outer seal ring	114.300	0.102	to 0.127
<b>INTERSTAGE LABYRINTH SEALS, Dwg. 012-489</b>			
Impeller spacer labyrinth	136.525	0.203	to 0.305
Impeller cover labyrinth, Stages 1-7	274.650	0.305	to 0.406
Impeller cover labyrinth, 9th stage	263.525	0.254	to 0.356
Balance piston labyrinth	260.350	0.381	to 0.508

a) Diameters of rotating members only in millimeters  
 b) Total design clearances in millimeters  
 c) Refer to drawing 010-500, Rotor Dimensions  
 d) Measure at radial center; replace if less than minimum

Semua suaian di atas merupakan target dimensi yang harus dicapai oleh teknisi rotating pada proses setting di saat pekerjaan Overhaul.

KRONOLOGI KEGAGALAN START-UP COMPRESSOR CENTRIFUGAL F4A-103JHP

1. Rekomendasi Perbaikan Saat Turn Around Pabrik Sebelum membahas kegagalan start-up equipment F4A-103JHP, beberapa hal yang perlu diketahui sehubungan dengan dimasukkannya equipmen ini kedalam item pekerjaan TA seperti sebagai berikut :
  - a. Sesuai dengan jadwal yang telah di schedulekan, pelaksanaan Turn Around pabrik Pusri – IV dilaksanakan pada bulan Februari 2023.
  - b. Untuk equipment F4A-103JHP, dari data – data operasional alat sebelumnya (Tabel 2), tidak ada gejala dan atau indikasi yang besar untuk equipment ini. Secara umum peralatan beroperasi dengan normal. Rekomendasi pekerjaan yang dikeluarkan oleh Departemen Reliability selaku unit kerja condition & monitoring berdasarkan trend kondisi operasional, adalah pekerjaan service yang meliputi pemeriksaan Seal Oil dan Bearing (Radial dan Axial).

Tabel 2. Data Kondisi Operasional unit Equipment F4A-103J sebelum Turn Around

Position/ Channel	Direct	Filtered Data				DC Gap (Volt)	T (°C)	DATA OPERASIONAL
		Ampl. 1x (Micron)	Phase (Deg)	Ampl. 2x (micron)	Phase (Deg)			
18A	-120					-6.66	64	TURBIN (JBT) Press. Inlet : 41 Kg/cm <sup>2</sup> Temp. Inlet : 410 °C
18B	-150					-6.30		
19A	11.0	10.0	74	1.0	0	-7.46	67	Press. Exhaust : -0.63 Kg/cm <sup>2</sup> Temp. Exhaust : 30 °C
19B	13.0	10.0	161	1.0	0	-7.20		
20A	35.0	11.0	22	4.0	0	-7.70	58	Turbin (JAT) Press. Inlet : 78 Kg/cm <sup>2</sup> Temp. Inlet : 485 °C
20B	33.0	9.0	118	3.0	0	-7.20		
21A	-30					-7.30	-	Press. Exhaust : 43 Kg/cm <sup>2</sup> Temp. Exhaust : 485 °C
21B	-50					-7.10		
22A	76.0	73.0	230	6.0	189	-6.30	75	Compressor LP Press. Suction : 28 Kg/cm <sup>2</sup> Temp. Suction : 30 °C
22B	40.0	37.0	351	3.0	0	-7.90		
23A	74.0	70.0	32	6.0	87	-8.00	77	Press. Discharge : 59.5 Kg/cm <sup>2</sup> Temp. Discharge : 161 °C
23B	36.0	29.0	148	4.0	0	-7.40		
24A	30.0	30.0	355	2.0	0	-7.80	78	Compressor HP Press. Suction : 57 Kg/cm <sup>2</sup> Temp. Suction : 10.0 °C
24B	24.0	23.0	116	1.0	0	-7.50		
25A	8.0	7.0	88	1.0	0	-5.50	58	Press. Discharge : 121 Kg/cm <sup>2</sup> Temp. Discharge : 74 °C
25B	13.0	11.0	180	2.0	0	-6.90		
26A	280					-5.30	-	Flow : -
26B	220					-5.80		
27A	14.0	11.0	324	1.0	0	-7.30	50	Flow : -
27B	18.0	15.0	53	3.0	0	-6.40		
28A	35.0	34.0	315	3.0	0	-6.80	55	Flow : -
28B	34.0	32.0	217	3.0	0	-7.90		
29A	340					-7.30	77	Flow : -
29B	290					-7.80		

**FINDINGS & ANALYSIS**  
 @ 17 Sep 2022 Naikkan setting alert ch 24A  
 @ 25 Okt 2022 Naikkan setting alert ch 24A dari 60 ke 75 mic  
 @ 4 Nov 2022 Ganti bearing radial ch 24 B dan OB bearing rusak

**REKOMENDATION**  
 @ Atur beban operasional / perubahan kondisi operasional dari 55 ke 60 mic.  
 @ Lakukan pemeriksaan proximitor dan terminasi Ch.25 A  
 @ Siapkan spare bearing & labyrinth turbin 4A-103JAT  
 @ Rek. No 513 / DD502.LA / 2022  
 @ Lakukan reclaiming oli secara periodik

Dapat dilihat lebih spesifik pada data channel 27A/B, channel 28A/B, dan channel 29A/B tidak ada penunjukan abnormal vibrasi dan temperature pada masing – masing posisi bearing seperti yang ditunjukkan oleh channel – channel tersebut. Berdasarkan data operasional, tidak ada indikasi terkait performance yang menjadi keluhan dari produksi menjadikan sebab harus dilakukan pemeriksaan

terhadap internal parts kompresor. Dengan demikian pelaksanaan pekerjaan service merupakan bagian dari program Preventive Maintenance.

2. Pelaksanaan Turn Around.

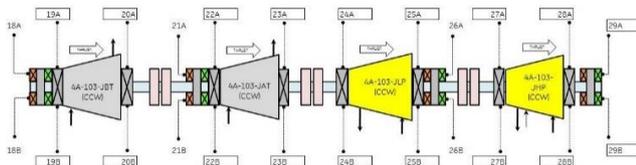
Selanjutnya sesuai dengan rencana pekerjaan Turn Around, telah dilaksanakan pekerjaan sebagai berikut :

- a. Inspeksi Bearing (Journal Bearing dan Thrust Bearing)  
Dilakukan penggantian all bearing journal pad dan all thrust bearing pad. Setting posisi rotor dan axial clearance dikembalikan ke semula seperti sebelumnya.
- b. Inspeksi Seal Oil  
Dilakukan penggantian beberapa parts dan seal.
- c. Inspeksi Coupling  
Dilakukan pembersihan dan dipasang seperti semula. Tidak ada isu distance between hub setelah proses alignment.

3. Proses Strat Up Pabrik setelah Turn Around

Rangkaian pekerjaan inspeksi F4A-103JHP dilaksanakan dari tanggal 14 Februari 2023 hingga tanggal 7 Maret 2023

- a. Start-up F4A-103J pada tanggal 26 Februari 2023 mengalami kegagalan karena interlock memerintahkan equipment trip karena High Axial Displacement pada channel 29A/B yang disertai dengan kenaikan temperature bearing.

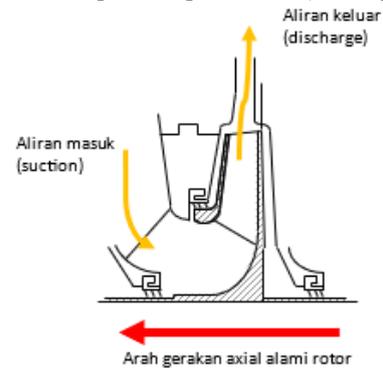


Gambar 2. Konfigurasi sensor vibrasi kompresor 4A-103J

- b. Dari pengamatan indikasi - indikasi operasional yang memungkinkan ketidak stabilan axial displacement, tidak ditemui kelainan dan atau ketidak normalan. Sebagai contoh, diff. pressure seal balance line normal, tidak ada guncangan aliran gas, tekanan pelumas yang stabil, dan lainnya.
- c. Dilakukan pemeriksaan kondisi bearing untuk memverifikasi kelayakan kondisi bearing.
- d. Dari hasil pemeriksaan, didapatkan kondisi thrust bearing rusak pada sisi bearing aktif (yang menerima beban aktif dari gerakan axial rotor). Analisa sementara diyakini ada gangguan proses yang kemungkinan tidak terdeteksi atau terlewatkan karena berlangsung dalam waktu

cepat dan tiba – tiba sehingga tidak terdeteksi oleh peralatan instrumentasi. Untuk mengantisipasi kegagalan deteksi Kembali, dilakukan pemeriksaan terhadap semua peralatan instrumentasi yang terkait dengan rangkaian proses start-up kompresor.

- e. Setelah dilakukan penggantian bearing, dilakukan re-setting posisi rotor dengan mengikuti kecenderungan arah axial alami rotor kompresor (lihat gambar 2), unit kembali disiapkan untuk proses operasional (start-up).



Gambar 2. Normal Arah Axial Rotor Centrifugal Compressor

- f. Pada proses start-up ke dua tanggal 27 Maret 2023, kejadian yang sama berulang dimana kenaikan axial displacement pada channel 29A/B Kembali terjadi dan menyebabkan peralatan trip/shutdown. Kenaikan tersebut juga disertai kenaikan temperature bearing Thrust hingga melewati batas maksimum.



Gambar 3. Indikasi Axial Displacement Interlock Pada Pannel Instrumentasi

Pada gambar 3 terlihat indikasi axial displacement pada channel 29B telah melewati batas danger dengan indikasi merah. Selanjutnya pada pannel indicator temperature di gambar 4 memperlihatkan indikasi temperature pad bearing axial (terpasang 2 buah RTD/Resistance

Temperature Detector pada 2 pad active) yang mencapai temperature 217°C dan 102°C.



Gambar 4. Temperatur Thrust bearing pad sesaat sebelum Trip

- g. Pemeriksaan bearing kembali dilakukan dan didapatkan kondisi bearing thrust kembali mengalami kerusakan akibat kondisi panas (Gambar 5).



Gambar 5. Kondisi Thrust Bearing yang mengalami gerusan berat (Atas untuk kerusakan pertama, dan Bawah untuk kerusakan ke dua)

- h. Telah muncul kecurigaan penyebab excessive axial displacement disebabkan oleh ketidakseimbangan tekanan dan beban yang terjadi pada

bagian – bagian rotor (balance piston dan impeller).

Dugaan ketidak seimbangan tekanan pada balance piston tereliminasi oleh indikasi differential pressure balance line yang normal. Untuk memastikan yang menjadi penyebab gangguan keseimbangan tekanan di impeller, perlu dilakukan overhaul guna memeriksa kondisi shaft/impeller labyrinth seal di tiap – tiap stage. Sebagai informasi, orientasi arah all stage impeller Syn Gas Centrifugal Compressor ini sama di sepanjang shaft. Pekerjaan overhaul yang akan memakan waktu 4 sampai dengan 5 hari maintenance day di saat proses produksi telah tertunda selama hampir 2 pekan atau 15 hari (oleh sebab yang lain sebelumnya) sampai dengan tanggal 28 Maret 2023 menjadikan keputusan tersebut tidak menjadi pilihan utama guna penyelesaian masalah ini.

- i. Kembali dilakukan penyesuaian posisi rotor ulang guna meminimalisir gaya aksial yang menyebabkan kegagalan start-up. Dilakukan penggantian parts bearing Thrust yang rusak dan lanjut assembly ulang.
- j. Selanjutnya tanggal 30 Maret 2023, Kembali dilakukan start-up. Alat mampu beroperasi normal selama 24 jam, dimana pabrik sempat berproduksi. Namun excessive axial yang masih tinggi dan selanjutnya kenaikan temperature bearing aksial terus bertahap naik, sehingga akhirnya kembali alat trip akibat aksial interlock pada channel 29A/B.
- k. Overhaul dilaksanakan untuk pemeriksaan internal parts kompresor. Ditemukan sebagian besar interstage labyrinth shaft seal dan impeller seal mengalami kerusakan (Gambar 6).



Gambar 6. Kerusakan Interstage Shaft & Impeller Labyrinth

- l. Dilakukan penggantian semua parts yang rusak, selanjutnya equipment di assembly kembali. Dikembalikan semua settingan sesuai dengan design.

m. Proses start-up pasca overhaul berlangsung dengan baik hingga pabrik kembali berproduksi normal.

Pada tabel 3 dapat dilihat kondisi operasional dari peralatan, khususnya pada channel 29 A/B setelah pekerjaan perbaikan terakhir (Overhaul).

Tabel 3. Data April 2023 setelah Turn Around Februari – Maret 2023

Position / Channel		Direct Amplitude (Micron)	Filtered Data				DC Gap (Volt)	T (°C)	DATA OPERASIONAL
		Ampl. 1x (Micron)	Phase (Deg)	Ampl. 2x (micron)	Phase (Deg)				
18A		-30				-7,30	60	<b>TURBIN ( JBT )</b>	
18B		-50				-7,10		Press. Inlet : 42 Kg/cm <sup>2</sup>	
19A		35,0	10,0	10	4,0	0	65	Temp. Inlet : 370 °C	
19B		36,0	10,0	54	2,0	0		Press. Exhaust : -0,65 Kg/cm <sup>2</sup>	
20A		13,0	10,0	141	1,0	0	58	Temp. Exhaust : 30 °C	
20B		14,0	10,0	216	2,0	0		<b>Turbin ( JAT )</b>	
21A		-10				-6,30	72	Press. Inlet : 78 Kg/cm <sup>2</sup>	
21B		-20				-7,70		Temp. Inlet : 465 °C	
22A		75,0	69,0	10	5,0	0	74	Temp. Exhaust : 44 Kg/cm <sup>2</sup>	
22B		25,0	19,0	135	3,0	0		Temp. Exhaust : 410 °C	
23A		76,0	66,0	184	7,0	344	80	<b>Compressor LP</b>	
23B		41,0	32,0	288	6,0	175		Press. Suction : 26 Kg/cm <sup>2</sup>	
24A		31,0	28,0	237	2,0	0	58	Temp. Suction : 30 °C	
24B		32,0	31,0	125	1,0	0		Press. Discharge : 61 Kg/cm <sup>2</sup>	
25A		25,0	23,0	201	1,0	0		Temp. Discharge : 163 °C	
25B		22,0	20,0	283	1,0	0		<b>Compressor HP</b>	
26A		140				-6,40	54	Press. Suction : 61 Kg/cm <sup>2</sup>	
26B		160				-6,30		Temp. Suction : 10,0 °C	
27A		7,0	3,0	0	1,0	0		Press. Discharge : 138 Kg/cm <sup>2</sup>	
27B		7,0	2,0	0	1,0	0	54	Temp. Discharge : 71 °C	
28A		14,0	9,0	8	2,0	0		<b>Flow</b>	
28B		8,0	3,0	0	1,0	0	55		
29A		-120				-10,90			
29B		-110				-10,90			

**FINDINGS & ANALYSIS**  
 - Ch. 19 & 22 ERO tinggi  
 - Ch. 23A masalah preload

**REKOMENDATION**  
 - Siapkan spare bearing turbin OEM  
 - Jaga kondisi operasional dan pelumasan

**EXCESSIVE AXIAL DISPLACEMENT AKIBAT KERUSAKAN INTERSTAGE LABYRINTH (SHAFT LABYRINTH DAN EYE IMPELLER LABYRINTH)**

Kenapa akhirnya disetujui untuk dilakukan overhaul untuk langkah pemeriksaan yang lebih jauh terhadap inner parts Compressor? Apa yang bisa meyakinkan pengambil keputusan untuk mengabaikan kerugian produksi dengan kembali ke belakang?

Untuk menjawabnya, berikut akan coba kita uraikan apa yang telah dilakukan dan dipastikan sebelumnya terkait potensi – potensi yang berkaitan dengan gangguan axial.

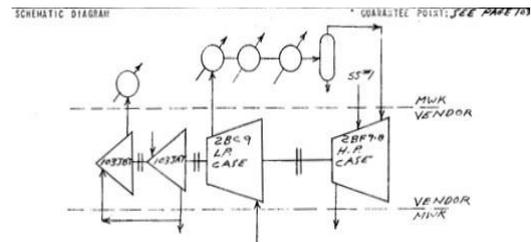
**1. Penyetingan posisi rotor**

Penyetingan posisi rotor paling ideal dilakukan pada saat bundle terbuka (saat overhaul) dimana dapat diukur langsung dimensi atau jarak rotor dan stator (case). Nilai simulasi tersebut nantinya dapat dikonfirmasi kembali kesesuaiannya pada saat pemasangan dan penyetingan bearing axial (thrust bearing). Sesuai dengan riwayat overhaul terakhir di bulan Desember tahun 2020, telah dilakukan penyetingan posisi rotor dan telah terkonfirmasi pada saat final setting thrust bearing pada waktu itu.

Untuk penyetingan ulang saat pekerjaan service di Turn Around ini, telah dikembalikan sesuai dengan data overhaul terakhir. Ini menjadikan kemungkinan kesalahan penyetingan posisi rotor menjadi lebih sangat kecil menjadi penyebab excessive axial displacement rotor.

**2. Penyetingan jarak hub to hub coupling**

HP Compressor merupakan gerbong terakhir dari rangkaian equipment F4A-103J



Gambar 7. Diagram Skematik F4A-103J (Clark – Dresser, Rev-1 1991, Service Manual Equipment 2BC9 & 2BF9-8 Centrifugal Compressor for Synthesis Gas Service)

Seperti yang terlihat pada gambar 2 dan gambar 8 di atas, rangkaian equipment ini dari depan adalah 2 Turbine uap dengan kode equipment F4A-103JBT (Low Press Steam Turbine Case) dan F4A-103JAT (High Press Steam Turbine Case) sebagai penggerak (drive). Selanjutnya equipment F4A-103JLP (Low Press Syn Gas Compressor), serta terakhir adalah F4A-103JHP. Setiap equipment dihubungkan menggunakan coupling yaitu ; untuk unit Turbine F4A-103JBT ke F4A-103JAT menggunakan Gear Coupling. Selanjutnya dari unit Turbine F4A-103JAT ke kompresor F4A-103JLP menggunakan Flexible Diaphragm Coupling. Terakhir, dari kompresor F4A-103JLP ke kompresor F4A-103JHP menggunakan Gear Coupling.

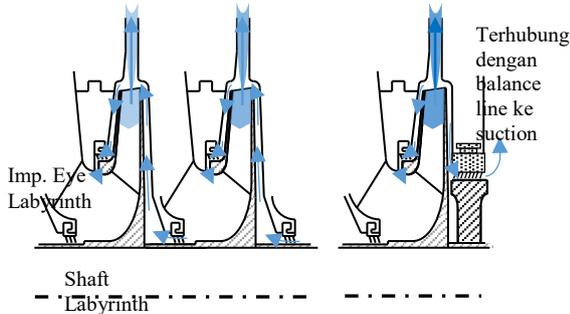
Untuk gear coupling ini, jarak bebas axial (coupling play) adalah antara 6 s/d 10 mm. Dengan nilai play coupling sebesar ini, berbanding axial clearance 0,381 hingga 0,559, menjadikan equipment F4A-103JHP sangat aman dari gangguan axial akibat dari tarikan atau dorongan mekanis kopling.

**3. Penyetingan clearance Thrust bearing**

Design clearance/suaian thrust bearing adalah antara 0,381 ~ 0,559 mm (table 1). Penyetingan clearance telah sesuai dengan ketentuan di manual books.

Dari poin – poin di atas, secara teknis instalasi semuanya telah dipenuhi dan disesuaikan dengan

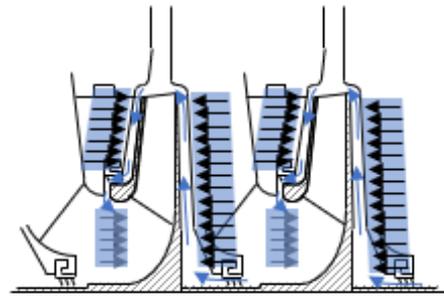
ketentuan manualnya. Apa selanjutnya yang akan dilakukan.? Mari beralih ke bahasan berikutnya. Secara teori, seperti yang banyak disampaikan oleh para ahli dan engineer yang mendisain sentrifugal kompresor, pada saat multi stage centrifugal compressor dengan bentuk orientasi impeller yang searah bekerja di kondisi normal, maka kondisi aliran gas yang bekerja pada kompresor adalah seperti yang dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 8. Aliran Gas di Centrifugal Compressor Multi stage

Pada gambar 9, terlihat ada aliran gas pada sisi – sisi impeller yang sebelumnya telah lolos melewati labyrinth shaft dan labyrinth impeller (eye impeller). Aliran gas tersebut merupakan aliran kebocoran yang wajar dan telah dikalkulasi oleh tim engineer kompresor dimana pengendalian kebocoran tersebut diatur melalui design clearance/suaian labyrinth terhadap shaft dan impeller. Di sini fungsi labyrinth dapat dikatakan sebagai pengendali aliran kebocoran dan menurunkan tekanan gas yang bocor/leak tersebut dari satu sisi tekanan tinggi ke sisi tekanan yang lebih rendah.

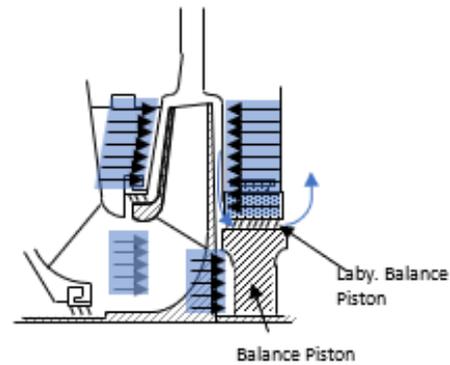
Aliran bocoran gas bertekanan yang mengalir melewati sisi – sisi impeller memberikan tekanan terhadap sisi – sisi impeller, dimana tekanan tersebut selanjutnya bekerja mempengaruhi beban axial rotor sesuai dengan luas permukaan yang dilewatinya. Jika melihat perbedaan luas penampang di atas dan dinamika aliran gas, terlihat ada potensi ketidak setimbangan beban yang diterima rotor. Berdasarkan beberapa literatur yang ada juga menegaskan hal tersebut, dan untuk itu Balance Piston adalah bagian dari rotor yang didesain untuk menyeimbangkannya beserta dengan Thrust bearing sebagai bantalannya.



Gambar 9. Pola Tekanan pada Impeller

Lebih jelas seperti pada gambar 10, seperti yang kita bahas sebelumnya, terlihat luasan permukaan yang mendapatkan distribusi tekanan di sisi Eye Impeller lebih kecil dibandingkan dengan luasan permukaan di sisi impeller belakang. Walaupun ada distribusi tekanan di sisi volute, namun tekanan tersebut teralirkan mengikuti aliran gas di dalam sudu impeller.

Selanjutnya untuk melihat pola tekanan di daerah balance piston, mari kita lihat pada gambar 10.



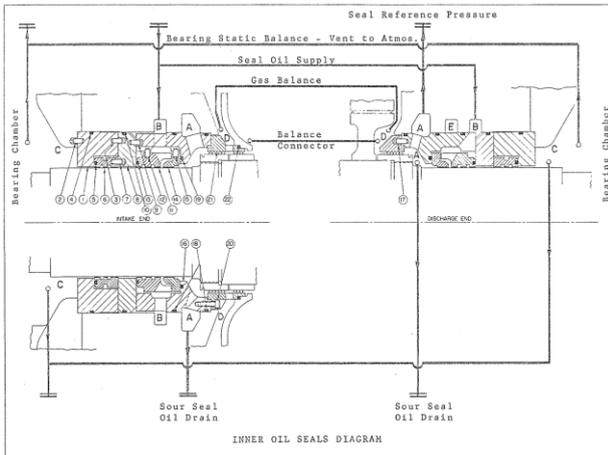
Gambar 10. Pola Tekanan Axial di Daerah Impeller & Balance Piston

Seperti yang terlihat, ada pola tekanan dimana sebagian arah tekanan di sisi belakang impeller berbalik arah mendorong balance piston ke arah berlawanan. Ini adalah fungsi penyeimbang balance piston seperti yang dimaksud sebelumnya. Tekanan yang bekerja di sisi permukaan balance piston mengimbangi beban rotor akibat ketidak seimbangan tekanan di sisi – sisi impeller di tiap tingkat/stage.

Pertanyaan selanjutnya adalah, bagaimana keseimbangan ini dapat dipertahankan oleh fungsi balance piston. Sebagaimana disampaikan di atas bahwa tekanan gas yang mengisi celah antara masing – masing sisi impeller dan stator, begitu juga halnya berlaku untuk tekanan di sisi balance piston. Selama keseimbangan tekanan dapat terjaga, maka secara teoritis dan berdasarkan pengalaman sebelumnya beban aksial rotor akan stabil. Di sini fungsi labyrinth balance piston untuk

menjaga leak gas yang keluar tidak melebihi batas yang diperbolehkan.

Untuk memonitor kebocoran gas di sisi ini, dipasang Differential Pressure Gauge untuk membaca perbedaan antara tekanan di ruang gas leak (ruang yang terhubung dengan balance line) seperti pada gambar 12 di bawah dengan tekanan suction. Perubahan tekanan Reference Gas Line to OH Tank dapat juga digunakan sebagai indicator.



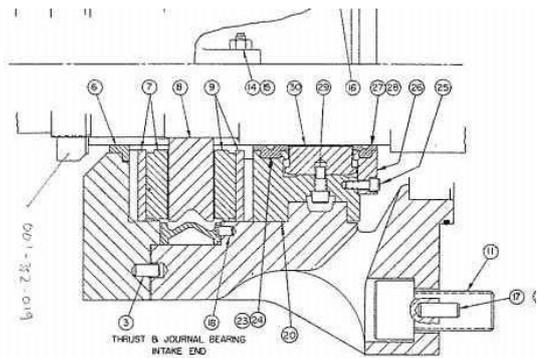
Gambar 11. Seal Balance Chamber (Clark – Dresser, Rev-1 1991, Service Manual Equipment 2BC9 & 2BF9-8 Centrifugal Compressor for Synthesis Gas Service)

Pengamatan Differential Press Balance Line selama percobaan start-up, mengindikasikan fungsi Labyrinth Balance Piston masih baik dan tidak ada keausan. Semua bahasan di atas telah memberikan uraian yang jelas terkait potensi – potensi penyebab kegagalan yang berkaitan dengan Excessive Axial Displacement. Kembali kepada bahasan tentang Penyetingan Kompresor di halaman 3 yang poin – poin penting perihal design suaian, maka telah hampir semua poin suaian tersebut yang kita jabarkan sampai dapat dikonfirmasi tidak ada hal yang menyimpang, **kecuali** suaian *Labyrinth Interstage (shaft labyrinth dan eye impeller labyrinth)*. Mengkonfirmasi suaian ini artinya mewajibkan kita untuk melaksanakan overhaul.

Mari kita tinjau aspek suaian ini dan pengaruhnya terhadap kegagalan start-up kompresor F4A-103JHP. Dari gambar 10 dan gambar 11, dapat ditarik kesimpulan bahwa jika shaft labyrinth dan impeller eye labyrinth mengalami kerusakan atau keausan yang parah akan menyebabkan perubahan tekanan gas yang bekerja pada sisi – sisi impeller. Keausan pada shaft labyrinth akan memperbesar tekanan di sisi impeller yang dilewatinya, sementara keausan pada impeller eye labyrinth akan memperkecil tekanan gas di sisi impeller yang dilewatinya. Kondisi di atas memperkuat kecenderungan shaft bergerak searah ke arah suction Compressor. Hal ini

menyebabkan timbulnya beban axial yang besar (Excessive Axial Displacement) ke arah suction Compressor.

Excessive Axial Displacement akan membebani thrust pad bearing aktif (no. 7 pada gambar 12) melalui thrust disc (no. 8 pada gambar 12) melebihi design beban yang dapat diterimanya. Tekanan ini mengurangi celah pelumasan (oil film entry) yang selanjutnya menaikkan temperature di permukaan lapisan bantalan (bearing babbitt) yang terbuat dari bahan lunak. Kemampuan material babbitt bearing untuk menerima panas rata - rata dibatasi oleh manufacture diantara 90°C hingga 125°C. Teori di atas merupakan dasar analisa penyebab Excessive Axial Displacement pada kasus kegagalan pada F4A-103JHP dan dasar keputusan akhir untuk melaksanakan Overhaul. Untuk diketahui putaran rotor compressor pada saat running mencapai lebih dari 9500 rpm. Dengan putaran sebegitu tinggi, kekurangan pelumas pada lapisan bearing yang bergesek akan dengan cepat memicu kenaikan temperature yang massive.



Gambar 12. Bearing Assembly (Clark – Dresser, Rev-1 1991, Service Manual Equipment 2BC9 & 2BF9-8 Centrifugal Compressor for Synthesis Gas Service)

KESIMPULAN

Permasalahan yang dialami pada High Pressure Syn Gas Centrifugal Compressor F4A-103JHP ini merupakan kasus kegagalan pertama yang dialami sejak lama, bahkan untuk kompresor sejenis dan dengan orientasi arah impeller yang sama di lingkup PT. Pusri Palembang. Tidak adanya pengalaman serupa menyebabkan keterlambatan dalam penyelesaian masalah. Keterlambatan pengambilan keputusan dikarenakan analisa yang tidak matang menyebabkan kegagalan berulang yang selanjutnya menjadikan waktu start-up pabrik menjadi tertunda. Keterlambatan ini menyebabkan banyak gas bahan baku yang terbuang dan keterlambatan juga ke proses start-up pabrik urea memberikan kerugian yang tidak sedikit bagi Perusahaan.

Selanjutnya yang menjadi catatan utama di sini adalah penyebab kerusakan labyrinth dimana masih perlu analisa proses yang lebih dalam untuk menentukannya. Seperti yang diketahui sebelumnya, tidak ada isu Excessive Axial Displacement selama proses operasional disaat sebelum Turn Around, yang mana dapat dipastikan tidak ada kerusakan pada labyrinth sebelum alat di stop. Sampai di sini dapat ditarik kesimpulan bahwa kerusakan labyrinth terjadi pada saat proses shut down dan atau pada saat proses persiapan/pelaksanaan start-up di awal pasca selesainya pekerjaan Turn Around. Perlu keterbukaan untuk menemukan analisa dan kesimpulan yang comprehensive guna tidak terulangnya kegagalan yang sama di masa yang akan datang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Clark – Dresser, Rev-1 (1991). Service Manual Equipment 2BC9 & 2BF9-8 Centrifugal Compressor for Synthesis Gas Service
- DresserRand, 2006, Centrifugal Compressor.
- L. Baldassarre, M. Fontana, A. Bernocchi, F. Maiuolo, E. Rizzo (2015). Axial Thrust in High Pressure Centrifugal Compressors: Description of a Calculation Model Validated by Experimental Data from Full Load Test
- MHI, Inspection check list for HP Compressor 5V-7C