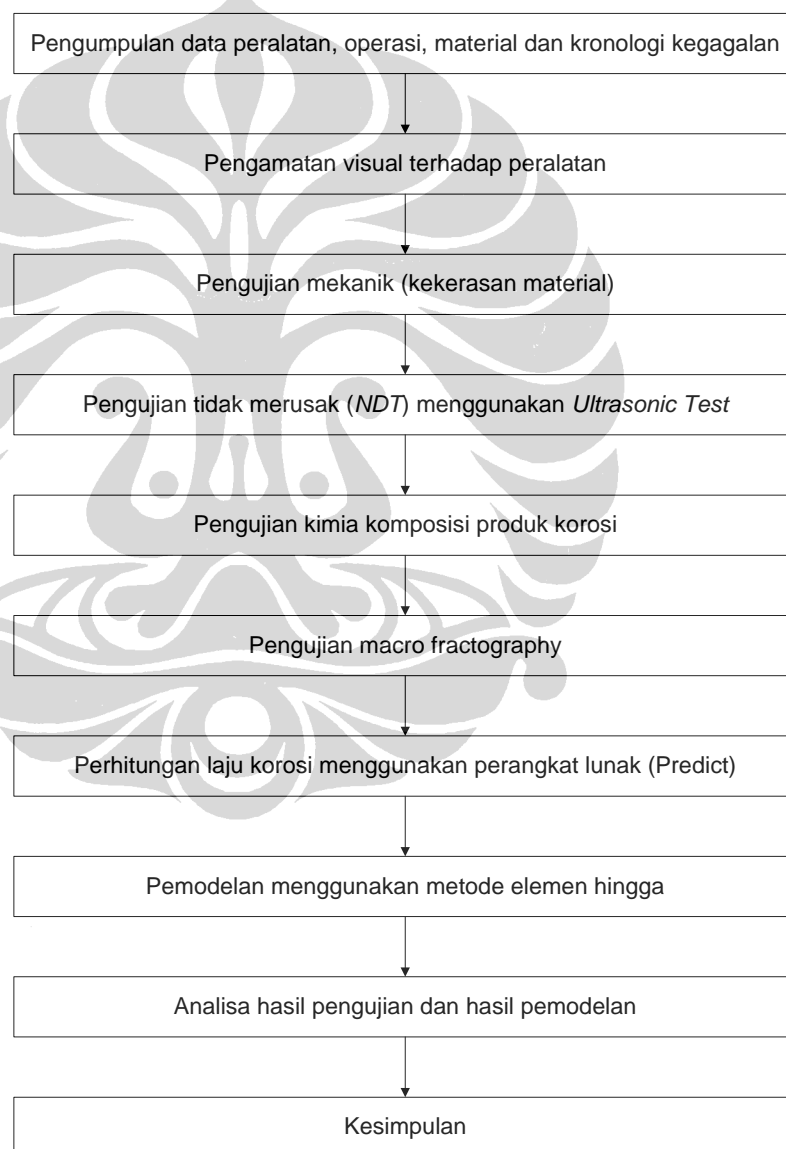


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Analisa kegagalan merupakan suatu metode melalui tahapan analisa fisik, mekanik, kimia dan metalurgi yang harus dilakukan untuk menentukan penyebab kegagalan dari suatu peralatan maupun komponen. Dalam kasus ini tahapan analisa yang dilakukan dapat dijelaskan melalui diagram alir (*flow chart*) di bawah ini:



Gambar 3.1 Diagram alir analisa kerusakan

3.1 PENGUMPULAN KRONOLOGI KEGAGALAN, DATA PERALATAN DAN OPERASI

3.1.1 Kronologi kegagalan

Sumur SA-21 pertama kali berproduksi pada tanggal 27 Juni 2001. Pada bulan Agustus 2006 *sub sea tree* mengalami kebocoran hal ini ditandai dengan adanya penurunan tekanan pada pipa penyalur dan gelembung gas yang timbul pada permukaan laut, kebocoran ini kemudian dibuktikan dengan pemeriksaan bawah laut dengan menggunakan *ROV (Remote Offshore Vehicle)*. Premier Oil memutuskan untuk menutup sumur sementara dan mengangkat *sub sea three* pada bulan Februari 2007. Premier memilih gudang di Batam sebagai tempat penyimpanan sementara dengan pertimbangan jarak terdekat dari lokasi dan untuk menjaga pencemaran lingkungan terhadap *sub sea tree* untuk analisa kegagalan. Peralatan di simpan di lingkungan terbuka dengan pelindung kain

3.1.2 Data peralatan *sub sea tree* SA-21

Tabel 3.1 Data peralatan ^[5]

Sub sea tree SA-21 (Part number R110801-1)	
Material trim	: B-B (as per API 6A)
Master block body	: AISI 8630 and partial clad on gasket seating
Valve bonnet	: AISI 4130 and partial clad on bonnet sealing area
Valve gate	: AISI 410 SS
Ring gasket	: SS 316 L
Wing valve body	: AISI 4130 and partial clad on sealing area
Elbow body	: Low C-Mn steel
Clad material	: Inconel 625 (seating gasket)

Dari data peralatan dapat dilihat terdapat perbedaan material antara *master block body* (AISI 8630) dan tempat dudukan gasket (Inconel 625).

Tabel 3.2 Data Material peralatan [5]

AISI 8630		C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Hardness (HB)
	Min	0.28	0.75	*	*	0.15	0.7	0.8	0.35	
	Max	0.33	0.95	0.025	0.025	0.35	0.9	1	0.45	207-237

AISI 4130		C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Hardness (HB)
	Min	0.27	0.3	*	*	0.15	*	0.75	0.15	
	Max	0.33	0.7	0.025	0.025	0.35	*	1.2	0.25	207-237

AISI 410		C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Hardness (HB)
	Min	-	-	*	*	-	*	11.5	-	
	Max	0.15	1.0	0.04	0.03	1.0	*	13.5	-	207-237

Alloy 625		C	Mn	Si	P	S	Cr	Cb	Co	Mo	Fe	Al	Ti	Ni
	Min	-	-	-	-	-	20	3.1		8	-	-	-	58
	Max	0	0.5	1.0	0.02	0.02	23	4.1	10	10	5.0	0.4	0.4	

3.1.3 Data operasi

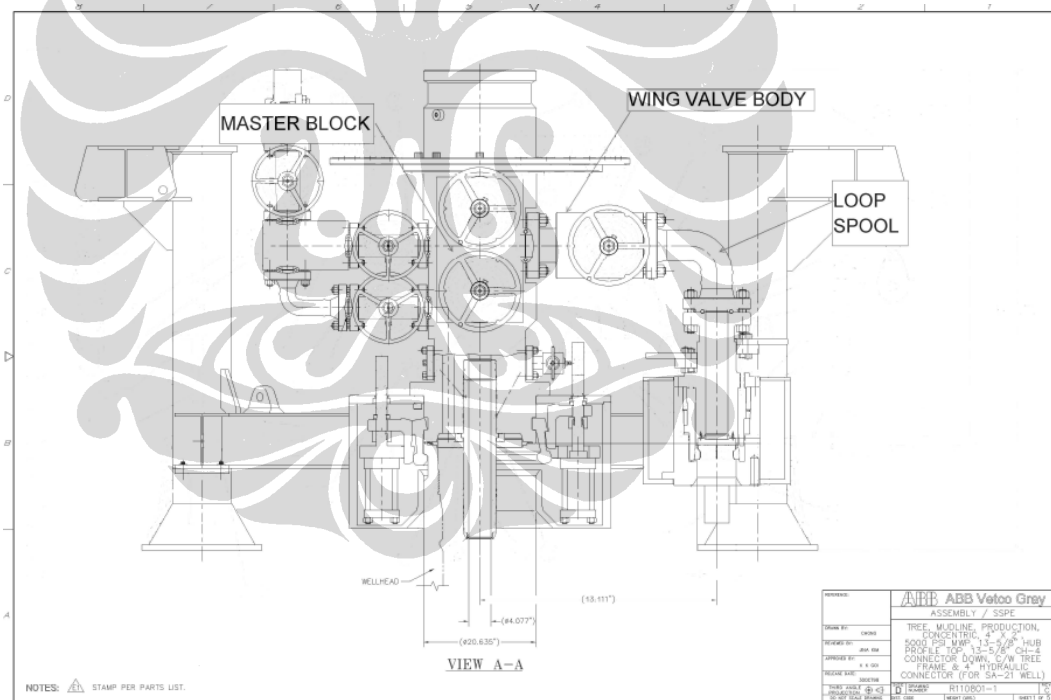
Tabel 3.3 Data operasi peralatan

First Production Date	: 27 June 2001
Flowing Pressure @ Sub Sea Tree	: 900 -1200 psi
Flowing Temp @ Sub Sea Tree	: 170 -190 deg F
Gas flow rate (min – maximum)	: 50 -90 MMscf/d
Condensate rate	: 9 bbl/MMscf (450 -800 bcpd))
Water rate	: 1 bbl/MMscf (50 -90 bwpd)
Xmas tree bore	: 4.06"
Gas velocities	: 110 -180 ft/sec
Production Interval	: C sand
Initial Reservoir Pressure	: 2300 psi
Current Reservoir Pressure	: 1480 psi
Reservoir Temperature	: 210 deg F
Tubing Size below Xmas tree	: 4-1/2" OD 12.6 ppf (3.96" ID) : Material Cr-13
Water Depth	: 253 ft
Depth Tubing hanger	: 340 ft BRT
Sand production detected	: None

3.2 PENGAMATAN VISUAL TERHADAP PERALATAN

Pada bulan Agustus 2007 dilakukan pengamatan visual peralatan *sub sea tree* untuk pertama kali di Batam. Pengamatan dilakukan secara bersama antara Premier Oil dan perusahaan pembuat *sub sea tree* (VetcoGray). Dari pengamatan fisik ditemukan beberapa hal sebagai berikut:

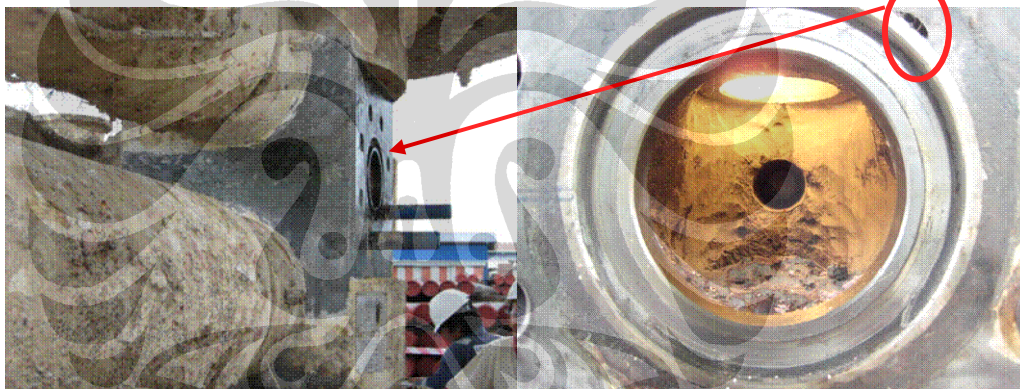
- Ditemukan kebocoran pada *master block*. Kebocoran terjadi pada sambungan dengan *wing valve* dibadan *master block* yang berbatasan dengan dudukan cincin gasket (gambar 3.4). Adanya perbedaan material antara *master block* body (AISI 8630), dudukan gasket (Incoloy 625) dan ring gasket (SS 316 L).
- Adanya pengikisan dan pengurangan ketebalan pada pada dinding dalam bagian atas *master block*, *wing valve* dan *loop spool*.
- Kondisi *sacrificial anode* dalam kondisi baik. Dan tidak ditemukan adanya korosi pada bagian luar *sub sea tree*.



Gambar 3.2. *Sub sea tree* SA-21 layout ^[5]

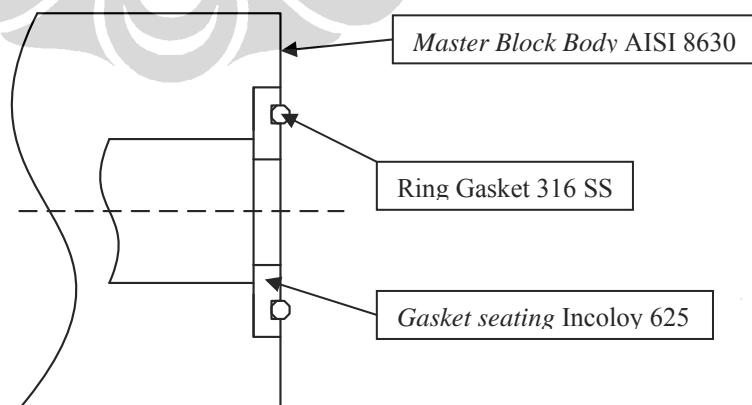


Gambar 3.3. Pengamatan visual *sub sea tree*^[2]

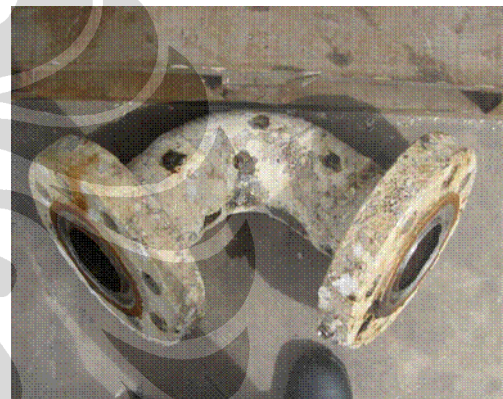


Gambar 3.4. *Master block* tampak samping^[1]

Gambar 3.5 Kebocoran pada *master block*^[1]

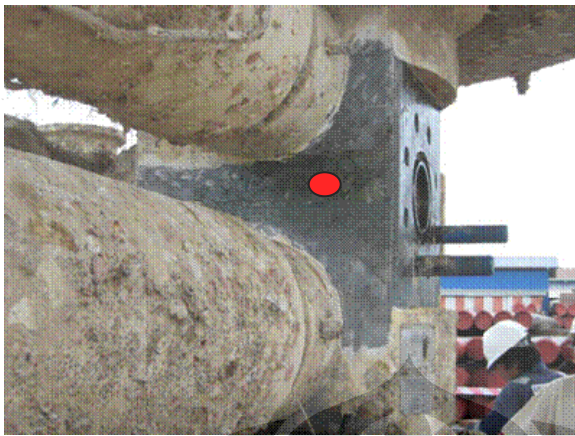


Gambar 3.6 Perbedaan material pada master block dan dudukan gasket

Gambar 3.7 Pengikisan pipa PSV^[1]Gambar 3.8 Pengikisan logam bagian dalam *master block*^[2]Gambar 3.9 *Wing valve*^[1]Gambar 3.10 *Loop spool*^[1]

3.3 PENGUJIAN MEKANIK (KEKERASAN MATERIAL)

Uji kekerasan dengan metoda *indention* dilakukan pada *master block*, *wing valve* dan *loop spool*. Pengukuran kekerasan bertujuan untuk memverifikasi materil yang dipergunakan apakah sesuai dengan spesifikasi yang diberikan pada data peralatan. Sifat material ditandai dengan berbagai parameter salah satu parameter yang penting adalah sifat kekerasan. Uji kekerasan dilakukan pada bagian yang ditandai dengan dot warna merah pada gambar 3.11, 3.12 dan 3.13. Permukaan uji harus dibersihkan dari karang laut menggunakan sikat kawat (*wire brush*) agar memperoleh hasil pengukuran yang akurat.



Gambar 3.11 Pengukuran kekerasan pada *master block* ^[1]



Gambar 3.12 Pengukuran kekerasan pada *wing valve* ^[1]



Gambar 3.13 Pengukuran kekerasan pada *loop spool* ^[1]

Hasil pengukuran kekerasan pada *master block*, *wing valve* dan *loop spool* seperti pada table 3.4.

Tabel 3.4 Hasil pengujian kekerasan pada *master block*, *wing valve* dan *loop spool* ^[1]

Peralatan	Kekerasan (HB)	Spesifikasi Kekerasan (HB)
<i>Master Block</i>	214 HB	207 – 237
<i>Wing Valve</i>	209 HB	207 -237
<i>Loop spool</i>	140 HB	Max. 180

3.4 PENGUJIAN TAK MERUSAK (NDT) MENGGUNAKAN METODA ULTRASONIC TEST

Pengujian tidak merusak menggunakan metoda *ultrasonik* dilakukan setelah hasil pengamatan visual menunjukkan adanya pengikisan material (*metal loss*) pada permukaan dalam *master block*, *wing valve* dan *loop spool*. Pengujian *ultrasonic* dilakukan oleh pihak ketiga dalam kedudukan sebagai Premier Oil *sub-contractor* bertujuan untuk mengetahui ketebalan material yang terkikis untuk menentukan laju korosi yang disebabkan oleh fluida kerja. Pengukuran menggunakan peralatan *Krautkramer UT scanning*, setelah pengujian menggunakan *spot UT* tidak menunjukkan hasil. Penggunaan *spot UT* tidak menunjukkan hasil diakibatkan permukaan bagian dalam yang tidak rata akibat pengikisan yang berpengaruh terhadap pantulan gelombang *ultrasonic* yang tentu saja akan mengganggu pembacaan hasil pengamatan.

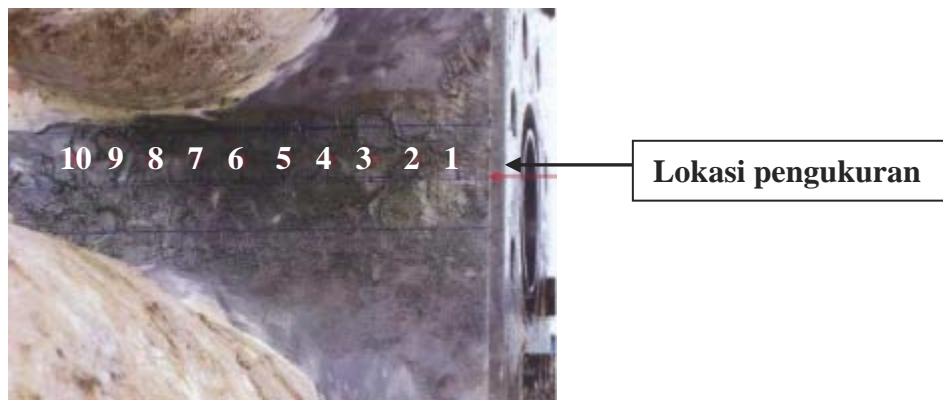
Sebelum pengukuran dilakukan, permukaan ukur dibersihkan dari tumbuhan laut yang menempel pada seluruh permukaan unit. Proses pembersihan dilakukan menggunakan sikat kawat dan gerinda untuk memperoleh permukaan yang halus agar *probe UT* dapat melakukan pengukuran dengan teliti.

3.4.1 Pengukuran ketebalan pada *master block*

Pengukuran pada *master block* dilakukan pada 10 titik lokasi dengan jarak masing-masing 1" (25.4 mm). Titik 1 dimulai dari permukaan keluaran *master blok*. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui pengurangan ketebalan pada *master block* untuk menentukan laju korosi. Laju korosi dapat dihitung menggunakan formula:

$$\text{Laju Korosi (mmpy)} = \frac{\text{Pengurangan ketebalan (mm)}}{\text{service live}}$$

Dalam kasus SA-21 umur pakai (*service life*) adalah 5 tahun (Juli 2001 ~ Agustus 2006).

Gambar 3.14 Layout pengukuran ketebalan pada *master block* ^[1]Tabel 3.5 Pengukuran ketebalan pada *master block* ^[1]

Lokasi	Ketebalan (mm)	Pengurangan Ketebalan (mm)	Laju Korosi (mmpy)/mpy
1	70.0	43.35	(8.4)/330
2	84.5	28.85	(5.7)/224
3	81.2	32.15	(6.4)/252
4	78.7	34.65	(6.9)/272
5	80.4	32.95	(6.5)/256
6	79.5	33.85	(6.7)/264
7	82.5	30.85	(6.1)/240
8	85.1	28.25	(5.6)/220
9	88.9	24.45	(4.8)/189
10	94.0	19.35	(3.8)/150
Ketebalan awal 113.35 mm			

Laju korosi terbesar berada pada titik 1 (330 mpy), yaitu titik dekat *nozzle* keluaran dari *master block*.

3.4.2 Pengukuran ketebalan pada *wing valve*

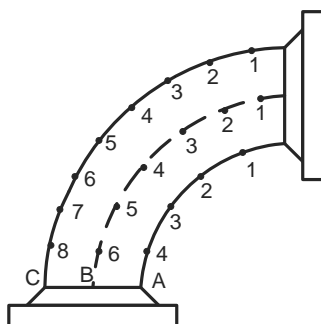
Pengukuran ketebalan pada badan *wing valve* mengalami kesulitan disebabkan permukaan dalam yang terlalu kasar sehingga mengganggu pemantulan gelombang. Pemantulan gelombang yang tidak sempurna mengakibatkan hasil yang tidak sempurna. Pengukuran dilakukan di sekeliling flange pada setiap 45⁰. Pengukuran dilakukan pada flange yang langsung berhubungan dengan *master block*.

Gambar 3.15 Layout pengukuran ketebalan pada *wing valve* ^[1]Tabel 3.6. Pengukuran ketebalan pada *wing valve* ^[1]

Lokasi	Ketebalan (mm)	Pengurangan Ketebalan (mm)	Laju Korosi (mmpy)/mpy
45 ⁰	95.62	8.18	(1.6)/62
90 ⁰	95.38	8.42	(1.6)/62
135 ⁰	95.40	8.40	(1.6)/62
180 ⁰	94.50	9.30	(1.8)/70
225 ⁰	93.40	10.40	(2.1)/82
270 ⁰	93.10	10.70	(2.1)/82
315 ⁰	95.21	9.23	(1.8)/70
360 ⁰	95.62	8.59	(1.7)/67
Ketebalan awal 103.8 mm			

3.4.3 Pengukuran ketebalan pada *loop spool*

Untuk *loop spool* pengukuran dilakukan pada radial dalam (A), bagian tengah (B) dan radial luar (C). *Loop spool* dengan poin 1 pengukuran berhubungan langsung dengan wing valve.

Gambar 3.16 Skematik pengukuran ketebalan *wing valve* ^[1]Gambar 3.17 Pengukuran ketebalan pada *wing*

Tabel 3.7 Pengukuran ketebalan pada *loop spool* ^[1]

No	A			B		
	Ketebalan (mm)	Pengurangan Ketebalan (mm)	Laju Korosi (mmpy) mpv	Ketebalan (mm)	Pengurangan Ketebalan (mm)	Laju Korosi (mmpy) mpv
1	12.2	0.8	(0.1) 4	11.8	1.0	(0.2) 8
2	11.2	1.8	(0.3) 14	9.6	3.4	(0.7) 27
3	11.4	1.6	(0.3) 12	9.6	3.4	(0.7) 27
4	11.9	1.1	(0.2) 8	9.7	3.3	(0.6) 26
5				9.6	3.4	(0.7) 27
6				9.8	3.2	(0.6) 25
Ketebalan awal : 13 mm						
No	C					
	Ketebalan (mm)	Pengurangan Ketebalan (mm)	Laju Korosi (mmpy) mpv			
1	10.4	2.6	(0.5) 20			
2	10.7	2.3	(0.4) 18			
3	9.9	3.1	(0.6) 24			
4	10.6	2.4	(0.4) 19			
5	10.3	2.7	(0.5) 21			
6	11.5	1.5	(0.3) 12			
7	10.9	2.1	(0.4) 16			
8	10.1	2.0	(0.4) 16			
Ketebalan awal : 13 mm						

3.5 PENGUJIAN KIMIA KOMPOSISI PRODUK KOROSI

Produk korosi diambil dari dalam *master block*. Analisa produk korosi dilakukan menggunakan metoda XRF. Analisa produk korosi berguna untuk menganalisa korosi yang terjadi dari unsur-unsur yang ditemukan. Gambar produk korosi dan hasil analisa komposisi produk korosi dapat dilihat pada table 3.9 dan gambar 3.18.

Tabel 3.8. Pengujian komposisi kimia produk korosi ^[2]

Komposisi (% Berat)			
Zn	0.001	Ca	0.538
Cu	0.001	Mn	0.270
Cl	0.653	Cr	0.001
Ti	0.099	Si	12.6
Mg	0.412	Al	2.04
Ba	0.187	P	0.137
Fe	82.7	S	0.313

Gambar 3.18 Produk korosi pada *master block* ^[2]

Dari analisa produk korosi yang terjadi, unsur yang dominan adalah Fe dan Si. Unsur Si biasa terdapat pada partikel pasir.

3.6 PENGUJIAN *MACRO FRACTOGRAPHY*

Pengujian *macro replica fractography* dilakukan pada daerah kebocoran yaitu daerah antara dudukan gasket (incoloy 625) dan master block (AISI 8630). Pengujian dilakukan untuk mengetahui adanya keretakan baik macro atau micro yang terjadi pada daerah kebocoran. Hal ini bertujuan untuk mengetahui mode kegagalan yang terjadi pada daerah kebocoran. Pengujian menggunakan metode *in-situ replica metalography* memakai *replica tape*.



Gambar 3.19 Pengujian *macro fractography*^[2]



Gambar 3.20 Hasil pengujian *macro Fractography* pada daerah HAZ^[2] (2)

Gambar 3.21 Hasil pengujian *macro fractography* pada daerah Kebocoran^[2] (1)

Dari hasil pengujian *macro fractography* tidak terlihat adanya keretakan yang terjadi pada daerah kebocoran.

3.7 PERHITUNGAN LAJU KOROSI MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK “PREDICT”

“Predict” adalah perangkat lunak yang dapat digunakan untuk perhitungan laju korosi untuk material baja dalam pengaruh gas CO₂, H₂S atau gabungan. Perangkat lunak ini sering dipergunakan untuk memprediksi ketahanan baja untuk aplikasi sumur minyak dan gas. Pemodelan dilakukan pada temperatur 170 °F sesuai dengan temperatur operasi dari *sub sea tree* SA-21.

Hal yang perlu diperhatikan dalam pemodelan menggunakan perangkat lunak “Predict” adalah analisa air. Analisa air berisi unsur-unsur yang terkandung

di dalam air yang berpengaruh besar terhadap perhitungan pH. Data analisa air dari sumur SA-21 dapat dilihat pada table 3.9.

Tabel 3.9 Hasil analisa air dari sumur SA-21

Specific gravity [60 ⁰ F]		: 1.0087			
Resistivity [77 ⁰ F] (ohm-m)		: 12.64			
Total dissolved solid		: 506			
	mg/L	meq/L		mg/L	meq/L
Sodium (Na ⁺)	57.2	2.49	Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	146	2.39
Potassium (K ⁺)	8.59	0.22	Carbonat (CO ₃ ²⁻)	<1	-
Calcium (Ca ⁺)	104	5.19	Hydroxide (OH ⁻)	<1	-
Magnesium (Mg ²⁺)	4.85	0.4	Chloride (Cl ⁻)	180	5.07
Iron (Fe ²⁺)	<0.01	-	Sulphate (SO ₄ ⁻)	11	0.23

Gambar 3.22 Pengisian analisa air untuk perhitungan pH

Parameter yang juga penting dalam pemodelan menggunakan “Predict” adalah besaran *Gas to Oil Ratio (GOR)*. Apabila $GOR < 5000 \text{ scf/bbl}$ berarti semakin banyak kandungan minyak di dalam sumur akan mengakibatkan kecenderungan berkurangnya laju korosi. Hal ini diakibatkan minyak akan melapisi logam dan berlaku sebagai *inhibitive film*. Dalam kasus ini GOR adalah 200,000 yang berarti semakin sedikit kandungan minyak dalam gas.

The screenshot shows the 'Flow Modeling' software interface with the following data:

Operational Parameters			
Type of Flow:	<input checked="" type="radio"/> Horizontal <input type="radio"/> Vertical <input type="radio"/> Inclined		
Angle:	0 degrees		
Pressure:	1214.7 psia	CO2 %:	1.8
Temperature:	170 °F	H2S %:	0
Diameter of:	4.0603 in		
Roughness:	Commercial Steel (0.0018)		
Calculate Surface Tension:	<input checked="" type="checkbox"/>		
Enter Surface Tension:	73.061445287 dyne/cm		
Custom Roughness:	<input type="checkbox"/>		
Results			
Superficial Liquid Velocity:	0.39004 ft/s	Mixture Velocity:	159.72948 ft/s
Superficial Gas Velocity:	159.33944 ft/s	Liquid Hold-up:	0.00244
Frictional Pressure Drop:	0.0410444 psi/ft	Shear Stress:	23.93895 Pa
		Froude No.:	2341.7332
		Reynold's No.:	576606.39
Flow Regime:	Horizontal - Annular Mist Flow		

Gambar 3.23 Pengisian data untuk perhitungan jenis pola aliran

Dari perhitungan dapat dilihat bahwa jenis aliran yang terjadi adalah *annular mist*. Hal ini diakibatkan kecepatan gas yang tinggi sehingga cairan yang terdiri dari minyak dan air akan berbentuk embun yang bergerak dengan kecepatan tinggi. Kecepatan fluida campuran (minyak, air dan gas) adalah 159.7 ft/s atau 48.7 m/s. Bilangan Reynold yang terjadi 576606.39 yang menandakan aliran sudah mencapai turbulen. Aliran *mist* sangat berbahaya karena aliran akan berbentuk gelembung kecil dengan kecepatan yang tinggi memiliki energi kinetik (momentum) yang besar. Pengikisan lapisan logam dapat terjadi walaupun tanpa kehadiran partikel.

Hasil laju korosi yang diakibatkan CO₂ dapat dilihat pada gambar hasil perhitungan perangkat lunak “Predict”:

The screenshot shows the 'temp 170 calculated pH - Predict' software interface. The window title is 'temp 170 calculated pH - Predict'. The interface includes a menu bar (File, Edit, View, Analysis, Help) and a toolbar with icons for New, Open, Save, Excel, Word, English, Metric, MPS, Data, Convert, Flow, Profile, and Cost. The main area contains several input fields and a 'Calculate' button. The results section shows 'Calc. pH = 5.56', 'Cor. Index(mpy) = 5.30', and 'Dew Point = 175.7 °F'. A red circle highlights these results.

Parameter	Value	Unit
Temperature	170	°F
Pressure	1214.7	psia
Fluid Velocity	0.39004	ft/s
Gas to Oil	200000	scf/bbl
Water to Gas	1	bbl/MMscf
Water Cut	0.001	percent
H ₂ S	0	psia
CO ₂	21.865	psia
Ionic Strength	0.01067642	M
Sulfur	<input checked="" type="checkbox"/>	
Acetate	0	ppm
HCO ₃	146	ppm
Cl ⁻	180	ppm
Oxygen	0	ppb
Service Life	20	yrs
Allowance	157	mils
Measured pH	5.56	
Method of Inhibition	No Treatment	
Inhibition Efficiency	None (<25%)	
Use Measured pH	<input type="checkbox"/>	
Glycol Injection	<input type="checkbox"/>	
Liquid Fraction	0.12	
Vapor Fraction	0.88	
Calc. pH	5.56	
Cor. Index(mpy)	5.30	
Dew Point	175.7 °F	

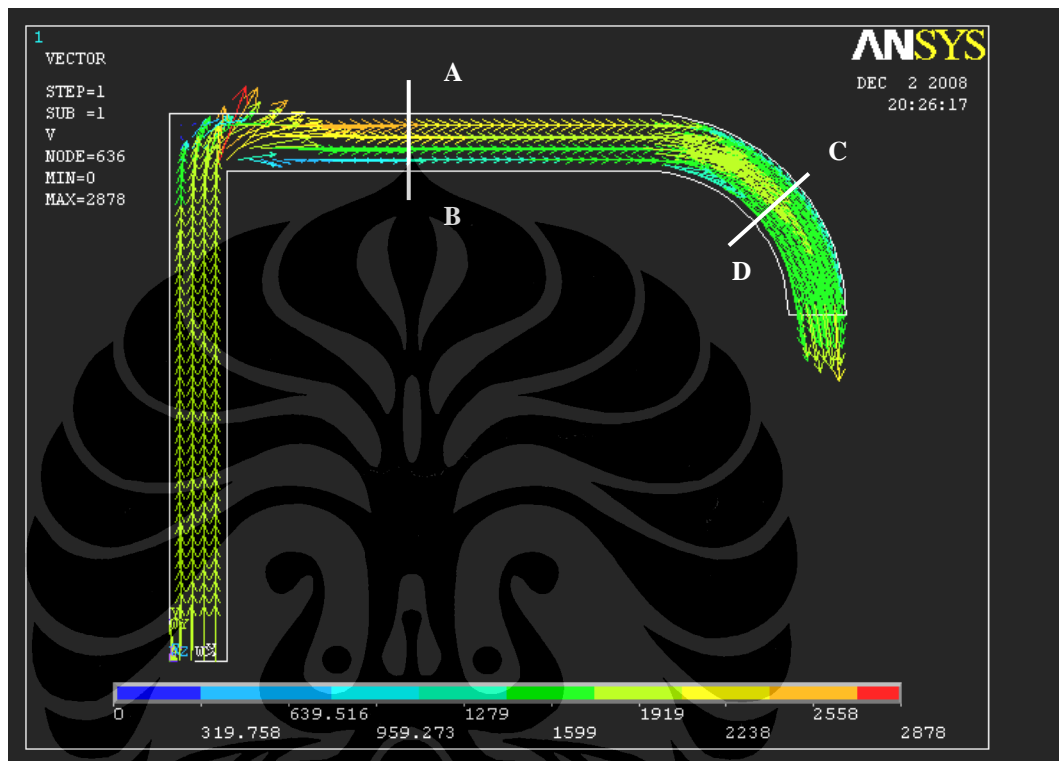
Gambar 3.24 Hasil perhitungan laju korosi untuk temperatur 170⁰F

Dari perhitungan laju korosi yang diakibatkan CO₂ menghasilkan besaran 5.30 mpy. Sedangkan laju korosi tertinggi pada poin 1 pada *master block* adalah 330 mpy. Laju korosi aktual yang terjadi 6226% dari laju korosi hasil perhitungan menggunakan perangkat lunak “Predict”.

3.8 PEMODELAN MENGGUNAKAN METODA ELEMEN HINGGA

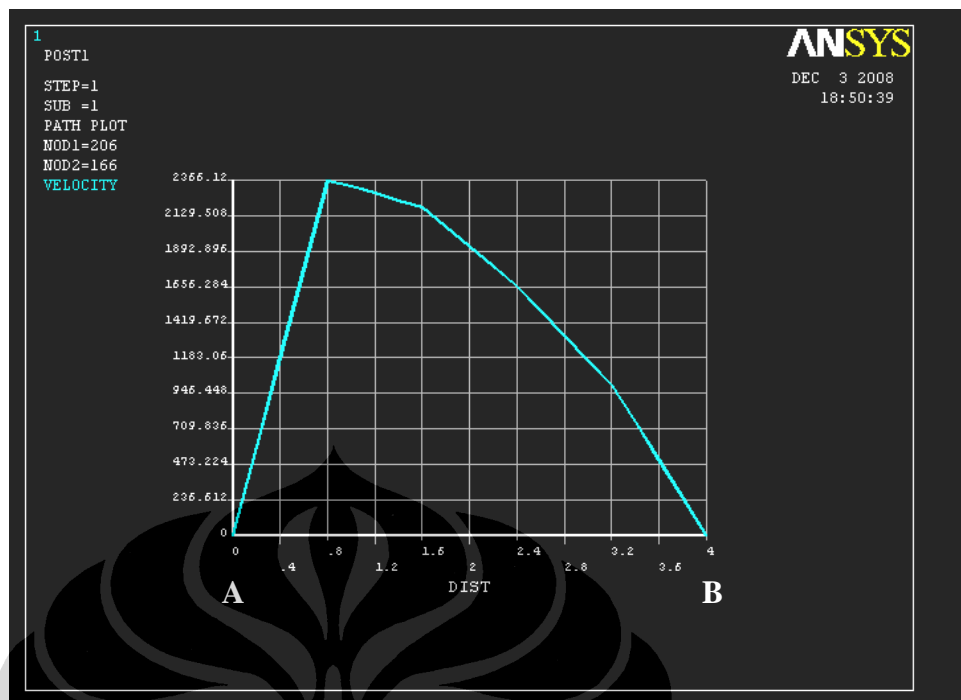
Pemodelan menggunakan metoda elemen hingga untuk mengetahui pola aliran yang terjadi di dalam *sub sea tree*. Disamping pola aliran melalui metoda elamen hingga dapat diketahui kecepatan yang terjadi di setiap titik di dalam *sub sea tree*. Pola aliran dan besaran kecepatan sangat berguna untuk analisa pengaruh kecepatan fluida kerja terhadap laju korosi (korosi erosi).

Pemodelan dua fasa yaitu gas dan cair untuk air dan minyak. Kondisi batas adalah dinding sub sea tree yaitu kecepatan $V = 0$ in/s dan tekanan luar $P = 0$ psig. Kecepatan dalam pemodelan menggunakan in/s. Pemodelan kecepatan dilakukan untuk *master block*, *wing valve* dan *loop spool*. Hasil pemodelan untuk profil kecepatan dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



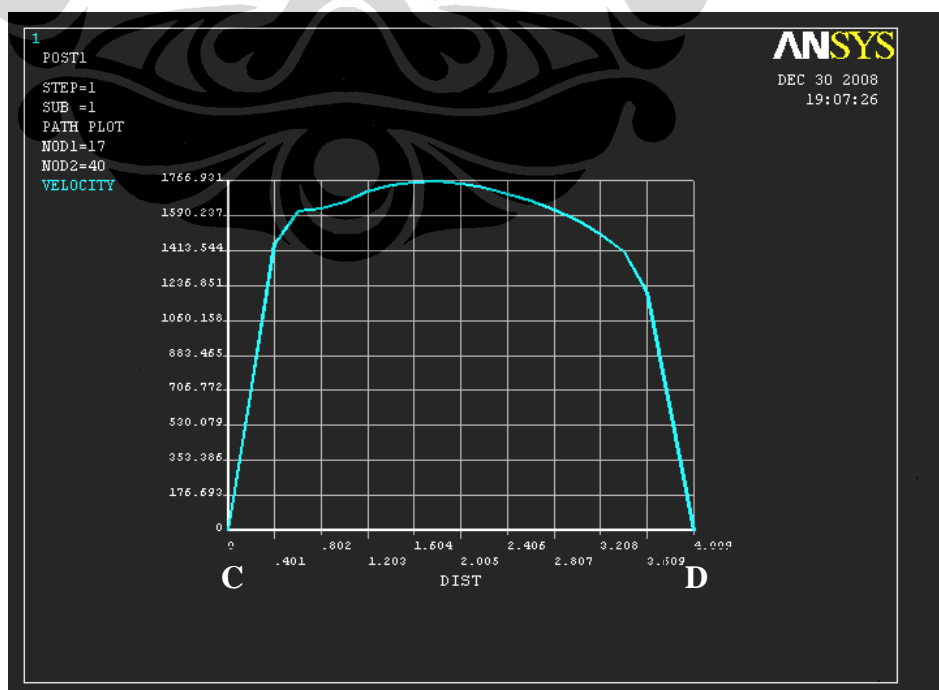
Gambar 3.25 Hasil pemodelan pola aliran pada temperatur 170°F

Dari profil kecepatan tampak kecepatan mencapai maksimum pada bagian belokan dengan ditandai warna merah.. Kecepatan yang menjadi perhatian adalah kecepatan horizontal di dalam *master block*, dimana kerusakan terjadi. Garis A-B adalah *nozzle* keluaran dari *master block* menuju *wing valve*. Garis C-D adalah garis pada bagian tengah *loop spool*. Gambar grafik 3,25 dan 3.26 adalah grafik kecepatan terhadap garis A-B dan C-D pada gambar 3.24.



Gambar 3.26 Grafik kecepatan sepanjang garis A-B

Kecepatan maksimum terjadi pada jarak 0.8” (20 mm) dari titik A seperti ditunjukkan pada gambar 3.25. Jarak 4” pada sumbu X grafik 3.25 adalah diameter *bore* dari *sub sea tree* (4”). Kecepatan maksimum yang terjadi adalah 2366.12 in/s atau 60.1 m/s.



Gambar 3.27 Grafik kecepatan sepanjang garis C-D

Kecepatan maksimum terjadi pada *loop spool* berada pada tengah dari *elbow*. Kecepatan maksimum yang terjadi adalah 1766.9 in/s atau 44.8 m/s. Kecepatan ini banyak dipengaruhi oleh bentuk belokan yang tidak terlalu tajam.

