

PREDIKSI TEMPERATUR OPERASIONAL *TUBE HEATER* PADA UNIT PENGOLAHAN MINYAK MENTAH AGAR MENCAPAI UMUR OPERASI 100.000 JAM

Hadi Sunandrio¹⁾, Rinaldi²⁾

¹Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) - BPP Teknologi Kawasan PUSPIPTEK - Setu - Tangerang Selatan 15314 - Banten

²Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru

E-mail : hadisunandrio@yahoo.com
rinaldiyds@gmail.com

Abstrak

Keberadaan *Tube Reformer* yang digunakan pada unit pengolahan minyak atau industri petrokimia yang ada di Indonesia sudah mendekati batas umur disain, bahkan sudah ada yang diganti. Salah satu *Tube Reformer* yang telah dioperasikan selama ± 25 tahun akan diprediksi umur sisanya. Karena pada saat dilakukan pemeriksaan in-situ metalografi didapat struktur mikro yang telah mengalami kerusakan berupa *creep void* stadium 2 (menurut standard TRD 508-ERA *Technology*) dan dianjurkan untuk dilakukan Pengujian Mulur (*Stress Rupture Test/Creep Test*) di laboratorium, untuk memprediksi sisa umur pakai dari *Tube Reformer* tersebut. Pada tulisan ini akan disajikan suatu hasil pengujian *creep* dari *Tube Reformer*, yang kemudian diekstrapolasi sehingga menghasilkan grafik LMP vs Tegangan, yang merupakan kombinasi tiga parameter yaitu waktu (*time to rupture*), logaritma tegangan dan suhu operasi menjadi satu kurva yang disebut Kurva Master **Larson-Miller Parameter** (*LMP Master Curve*). Selanjutnya parameter ini dapat digunakan untuk menghitung sisa umur material yang dioperasikan pada suhu tinggi digunakan persamaan *Larson-Miller Parameter* (LMP)

Kata Kunci : *Reformer Tube*, Pengujian *Creep*, Larson-Miller Parameter, Umur Sisa

Abstract

Tube reformer which is used on oil and petrochemical industry In Indonesia already used until its time limit. Moreover some are already replaced by the new one. One of Tube reformer has been used for 25 years. It will be predicted the remaining life. The result of in situ metallography shows stadium 2 void (based on TDR 508 – ERA Technology). In order to know the remaining life of the material then creep test on tube reformer was recommended. On this paper, the tube reformer creep test result was extrapolated to get LMP graph versus stress which is combination of three parameters time(time to rupture), stress logarithmic and Operation temperature in one curve called master Larson-Miller Parameter (LMP Master Curve). Then this parameter is used to calculate the remaining life of tube reformer on high temperature, It was used Larson - Miller Parameter equation.

Keywords : *Reformer Tubes*, *Creep Test*, *Larson-Miller Parameter*, *Remaining Life*

1. Pendahuluan

Dalam mendisain suatu *tube* yang beroperasi pada suhu tinggi umumnya umur operasinya adalah 100.000 jam (11,57 tahun) dan tentunya harus

dioperasikan dalam kondisi aman. Akan tetapi pada kenyataannya banyak *tube* yang mengalami pecah sebelum umur operasinya tercapai, sehingga mengakibatkan kerugian dan kecelakaan yang cukup besar.

Oleh karena itu untuk mengantisipasi hal tersebut, maka perhatian industriawan yang bergerak dalam bidang perminyakan atau petrokimia keamanan dan kelayakan operasi terhadap suatu peralatan atau komponen, berkembang kearah tinjauan terhadap umur operasi agar mencapai 100.000 jam.

Untuk mengoptimalkan umur operasi agar mencapai 100.000 jam pada salah satu komponen *Hydrocrbon Plant* di Unit Pengolahan Minyak Mentah yaitu *Tube Heater*, tentunya harus mengikuti tata cara pengoperasian peralatan tersebut yang telah dicantumkan pada *Standard Operational Procedure (SOP)*. Tata cara ini harus dilaksanakan sebaik-baiknya, dan tentunya dengan dukungan alat kontrol suhu, tekanan dan gaya yang benar dan akurat.

Kemudian untuk mengkaji dan mengetahui umur operasi dari *Tube Heater* dibutuhkan suatu teknik yang sudah standar dan diakui, agar hasil pengkajiannya lebih akurat dan terpercaya.

Kerusakan akibat suhu tinggi dalam kurun waktu yang cukup lama, tanpa adanya kesalahan pengoperasian (*SOP*), biasanya terjadi akibat pengaruh *creep* atau mulur.

Tube Heater akan terdeformasi secara kontinu dan perlahan-lahan dalam kurun waktu yang lama, apabila dibebani secara tetap. Laju regangan *creep* tergantung pada waktu dan suhu serta pembebanan yang konstan.

Proses kerusakan akibat *creep* juga dapat terjadi pada suhu rendah, akan tetapi yang sangat menyolok terjadi pada suhu tinggi atau yang mendekati suhu cair suatu bahan. Proses kerusakan *creep* pada bahan biasanya terjadi pada suhu yang berada pada $0,4 \div 0,5$ kali titik cair dalam derajat kelvin atau biasanya dinyatakan dengan $0,4 \div 0,5 T_m$ dan terjadi akibat adanya peregangan butiran atau struktur pada suhu tinggi dalam waktu yang lama pada kondisi pembebanan konstan.

Untuk bahan *tube heater* laju regangan mulur yang dipersyaratkan sebesar 1% untuk setiap 100.000 jam operasi.

2. Metode Penelitian

Tube Heater yang akan diprediksi *temperature* operasinya agar mencapai 100.000 jam menggunakan bahan / material ASTM A 335 Grade P5, dengan data pendukung sebagai berikut :

Objek	: <i>Tube Heater</i>
Service	: <i>Hydrocarbon</i>
OD Tube	: 152.4 mm
Tebal Tube	: 6 mm
<i>Tube Skin Temp. (design)</i>	: 440 °C
Temp. Operasi Maks. (<i>actual</i>)	: 525 °C
<i>Design Pressure</i>	: 21 kg/cm ²

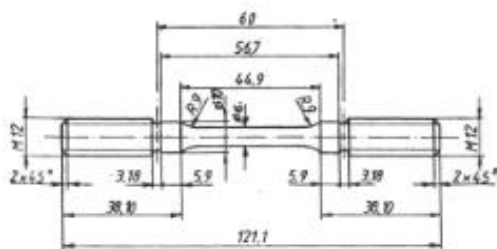
Metode penelitian untuk pengkajian umur operasi *tube heater* meliputi:

1. Mengidentifikasi material *tube heater* apakah telah sesuai dengan material ASTM A 335 Grade P5 "*Seamless Ferritic Alloy Steel Pipe for High Temperature Service*", dengan cara melakukan : pemeriksaan metalografi (struktur mikro), komposisi kimia, uji kekerasan dan uji tarik.
 - a. Pemeriksaan Metalografi (struktur mikro) menggunakan mikroskop optik "*Metalloplan*" (mengacu pada ASTM E 407).
 - b. Pemeriksaan Komposisi Kimia menggunakan alat "*OES Metorex Arc-Met 930*" (mengacu pada ASTM A 751).
 - c. Pengujian Kekerasan menggunakan alat "*Frank Welltest*" (mengacu pada SNI 19-0406).
 - d. Pengujian Tarik menggunakan mesin "*UPM 1000*" (mengacu pada SNI 07-0408) : Untuk mendapatkan nilai kuat tarik pada temperatur ruang dan temperatur 525 °C yang datanya akan digunakan pada saat pengujian *creep*.
2. Pengujian Mulur (*Stress Rupture Test / Creep Test*) menggunakan mesin Creep : Untuk mendapatkan nilai kombinasi tiga parameter yaitu waktu (*time to rupture*), logaritma tegangan dan suhu operasi menjadi satu kurva yang disebut Kurva Master **Larson - Miller Parameter** (*LMP Master Curve*). Dari parameter tersebut nantinya akan dapat digunakan untuk memprediksi temperatur operasional *Tube Heater* agar mencapai umur operasi 100.000 jam.



Gambar 1. Sampel Tube Heater yang digunakan untuk pemeriksaan struktur mikro, analisa komposisi kimia, uji kekerasan, uji tarik dan pengujian creep.

Proses pengkajian umur operasi dengan teknik uji merusak, dilakukan dengan memotong *tube*, kemudian dibuat benda uji sesuai dengan standar mesin uji *creep* (lihat Gambar 2).



Gambar 2. Dimensi benda uji berdasarkan standar mesin uji creep.

Benda uji yang telah selesai dibuat, kemudian diuji dengan menggunakan mesin uji *creep* (gambar 3), dengan jumlah benda uji minimal 5 sampel.



Gambar 3. Bentuk mesin uji creep yang ada di B2TKS – BPPT

Pada saat pengujian, data yang dibutuhkan adalah suhu, dan beban pengujian. Sebelum pembebanan dilakukan, benda uji harus dipanaskan hingga

mencapai suhu konstan selama 24 jam (sesuai standar ASTM E139-70).

Untuk memprediksi umur operasi *tube heater*, salah satu cara yang terbaik atau yang sering digunakan adalah dengan menggunakan persamaan “**Larson-Miller**” **Parameter (LMP)**. Dari persamaan ini dapat dengan mudah dihitung umur operasi *tube heater*, melalui **kurva master LMP vs log.s**(tegangan).

$$LMP = (T^{\circ}C + 273)(C + \log t_r)10^{-3} \quad (1)$$

Persamaan Larson-Miller Parameter dikembangkan berdasarkan penjabaran lebih lanjut dari persamaan laju tipe *Arrhenius*, yang menyatakan bahwa *creep* merupakan proses aktivasi tunggal yang terjadi pada suhu antara $0,4 \div 0,5 T_m$.

Menurut Larson-Miller Konstanta C merupakan hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai C berkisar antara 15 sampai dengan 30, tergantung pada jenis bahan yang digunakan atau yang dipakai, dan berdasarkan standar “*API Recommended Practice 530*”, ditetapkan bahwa untuk baja *Carbon Steel* nilai C = 20.

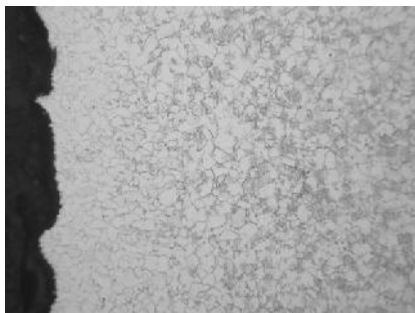
3. Hasil dan Pembahasan

Adapun pemeriksaan dan pengujian yang dilakukan terhadap *Tube Heater* meliputi : pemeriksaan metalografi (struktur mikro), pemeriksaan komposisi kimia, uji kekerasan, uji tarik dan uji *creep*. Data dari hasil pemeriksaan dan pengujian tersebut nantinya akan dapat digunakan untuk mengidentifikasi material *tube heater*, apakah telah sesuai dengan material ASTM A 335 Grade P5.

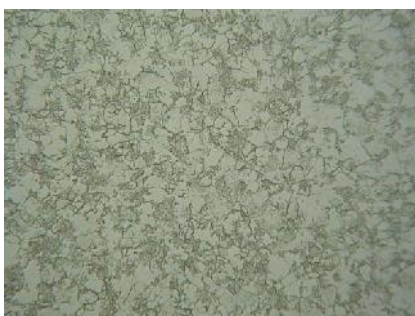
Sedangkan data dari hasil uji *creep* dapat digunakan untuk memprediksi umur operasi *Tube Heater* agar mencapai 100.000 jam.

3.1 Hasil Pemeriksaan Metalografi

Hasil pemeriksaan metalografi baik itu pada bagian luar, tengah maupun dalam *Tube Heater* pada potongan melintang adalah berupa ferit dan perlit.



Gambar 4. Struktur mikro potongan melintang *Tube Heater* dibagian luar berupa ferit (putih) dan perlit (hitam). Perbesaran :200X. Etsa :Nital 2%.



Gambar 5. Struktur mikro potongan melintang *Tube Heater* dibagian tengah berupa ferit (putih) dan perlit (hitam). Perbesaran :200X. Etsa :Nital 2%.



Gambar 6. Struktur mikro potongan melintang *Tube Heater* dibagian dalam berupa ferit (putih) dan perlit (hitam). Perbesaran : 200X. Etsa :Nital 2%.

3.2 Hasil Analisa Komposisi Kimia

Hasil analisa komposisi kimia pada material *Tube Heater* dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini :

Tabel 1. Hasil Analisa Komposisi Kimia

<i>Element</i>	<i>Chemical Composition (wt %)</i>	
	<i>Tube</i>	ASTM A 335 - P5
C	0.06	0.15 (max.)
Si	0.26	0.50 (max.)
Mn	0.42	0.30 - 0.60
Cr	4.28	4.00 - 6.00
Mo	0.48	0.45 - 0.65
S	0.005	0.025 (max.)
P	0.015	0.025 (max.)

Sumber Data :

Hasil pengujian dengan menggunakan alat OES Metorex Arc-Met SP 930

3.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil uji kekerasan pada material *Tube Heater* dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini :

Tabel 2. Hasil Uji Kekerasan

No.	Nilai Kekerasan (HV)	
	<i>Tube</i>	ASTM A 335 Grd P5
1	129	130 HV (karena pada standard tidak dicantumkan, maka nilai kekerasan didapat dari hasil konversi nilai uji tarik)
2	126	
3	127	
4	128	
5	127	

Sumber Data :

Hasil pengujian dengan menggunakan alat Frank

3.4 Pengujian Tarik

Hasil uji tarik terhadap material *Tube Heater* dapat dilihat pada tabel 3 di bawah ini :

Tabel 3. Hasil Uji Tarik

Kondisi Pengujian	Hasil Pengujian (MPa)	Standard ASTM A 335 - P5
Temperatur Ruang		
<i>Yield Strength</i> (y)	242	205 (min.)
<i>Tensile Stress</i> (u)	464	415 (min.)
Temperatur 525 °C		
<i>Tensile Stress</i> (u)	356	

Sumber Data :

Hasil pengujian dengan menggunakan alat UPM 1000

3.5 Pengujian Creep

Hasil pengujian *creep* terhadap material *Tube Heater* dapat dilihat pada tabel 4 di bawah ini :

Tabel 4. Hasil Uji Creep dan Perhitungan LMP

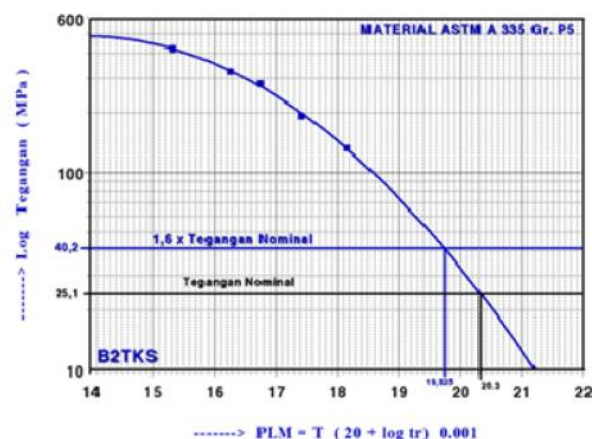
No	Do (mm)	Temp. (°C)	Tegangan (MPa)	LMP
1	2.88	450	421.78	15.32
2	3.10	500	323.70	16.26
3	3.13	550	280.79	16.75
4	3.14	600	192.64	17.42
5	3.17	650	132.28	18.18

Dari hasil pemeriksaan metalografi (struktur mikro) terhadap potongan melintang pada diameter luar, bagian tengah dan diameter dalam *Tube Heater* adalah berupa ferit dan perlit.

Hasil pemeriksaan komposisi kimia, uji kekerasan dan uji tarik terhadap material *Tube Heater*, sesuai dengan standard ASTM A 335 Grade P5.

Berdasarkan hasil pengujian *creep* yang disajikan pada tabel, kemudian diekstrapolasi sehingga menghasilkan grafik LMP vs Tegangan, seperti ditunjukkan pada gambar 7, yang merupakan kombinasi tiga parameter yaitu waktu (*time to rupture*), logaritma tegangan dan suhu operasi menjadi satu kurva yang disebut Kurva *Master Larson-Miller Parameter* (*LMP Master Curve*).

Larson-Miller Parameter, merupakan suatu persamaan yang menghubungkan antara suhu operasi (*T*) dengan umur (*time to rupture* = *t_r*) dan secara empiris dikemukakan oleh **Larson-Miller**. Parameter ini dapat digunakan untuk menghitung umur operasi material yang dioperasikan pada suhu tinggi dengan cara mengekstrapolasi data hasil pengujian *accelerated creep* dan memotongkan data hasil perhitungan tegangan nominal dalam *master curve* LMP.



Gambar 7. Grafik LMP vs Tegangan Hasil Pengujian Creep Tube Heater

Proses ekstrapolasi pada kurva tersebut harus tetap dilakukan bila ingin menghitung kemungkinan umur operasi suatu *tube* yang dioperasikan pada suhu tinggi, mengingat bahwa umur operasi suatu *tube* adalah 100.000 jam pada tegangan atau tekanan disain yang telah ditentukan, dan pada saat pengujian dilakukan percepatan kerusakan *creep* (*accelerated creep test*), yaitu dengan pembebanan atau pemberian tegangan yang jauh lebih besar dari tegangan disain dan diusahakan waktu pengujiannya sependek mungkin, tapi tetap representatif.

Hasil ekstrapolasi ini kemudian dipotongkan dengan nilai tegangan nominal yang dihitung berdasarkan rumus tercantum pada standar API 530 adalah sebagai berikut :

Diketahui :

Pressure : 21 kg/cm² ≈ 2.059 MPa
 Temperature : 440 °C
 Outside Diameter (OD) : 152.4 mm
 Inside Diameter (ID) : 140.4 mm
 Thickness (t) : 6 mm

Perhitungan *stress* yang terjadi adalah :

$$S = \frac{P(D_o - t)}{2t}$$

$$= \frac{2.059(152.4 - 6)}{2 \times 6} = 25,12 \text{ MPa}$$

Kemudian untuk menjamin keakuratan perhitungan kemungkinan umur operasi, maka tegangan nominal hasil perhitungan (25.12 MPa) dikalikan dengan factor keamanan (*safety factor*) sebesar 1,6 dan hasilnya adalah 40.19 MPa.

Faktor ini merupakan akumulasi terjadinya fraksi umur (*life fraction*) akibat pengaruh korosi, oksidasi, dan karburisasi yang akan dialami oleh *tube* tersebut pada saat beroperasi.

Akan tetapi faktor ini tidak mempunyai kontribusi dengan kesalahan operasional, misalnya terjadi pendinginan yang sangat cepat pada saat di stop,

adanya *hot spot* pada titik tertentu dalam *furnace* akibat kontrol yang kurang memadai, dan laju pemanasan yang sangat cepat pada saat di *start-up*.

Hasil perpotongan antara garis tegangan dan grafik hasil pengujian kemudian ditarik garis ke arah sumbu X (lihat gambar 7 dan gambar 8, Grafik PLM vs Tegangan), maka diketahui nilai PLM adalah : 20,32

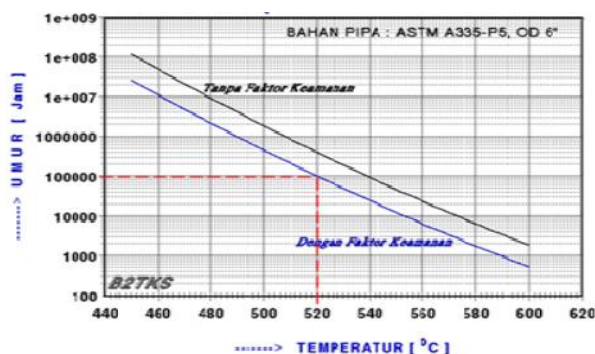
Tabel 5. Perhitungan Estimasi Umur OperasiTube(untuk tegangan aktual operasi)

No	Temp.	Tegangan	PLM	Prediksi Umur		
				(Jam)	(Bulan)	(Tahun)
1	450	25,12	20,32	127.384.787,10	176.923,32	14.743,61
2	475	25,12	20,32	14.647,901,17	20.344,31	1.695,36
3	500	25,12	20,32	1.937.281,62	2.690,67	224,22
4	520	25,12	20,32	420.931,91	584,63	48,72
5	530	25,12	20,32	201.885,84	280,40	23,37
6	550	25,12	20,32	48.995,70	68,05	5,67
7	575	25,12	20,32	9.167,78	12,73	1,06
8	600	25,12	20,32	1.888,25	2,62	0,22
9	625	25,12	20,32	424,68	0,59	0,05
10	650	25,12	20,32	103,55	0,14	0,01

Tabel 6. Perhitungan Estimasi Umur Operasi Tube (untuk tegangan dengan faktor keamanan 1,6)

No	Temp.	Tegangan x	PLM	Prediksi Umur		
				(Jam)	(Bulan)	(Tahun)
1	450	40,19	19,825	26.331.176,41	36.571,08	3.047,59
2	475	40,19	19,825	3.191.616,45	4.432,80	369,40
3	500	40,19	19,825	443.435,57	615,88	51,32
4	520	40,19	19,825	100.000,00	138,89	11,57
5	530	40,19	19,825	48.827,84	67,82	5,65
6	550	40,19	19,825	12.265,91	17,04	0,40
7	575	40,19	19,825	2.390,77	3,32	0,28
8	600	40,19	19,825	511,74	0,71	0,06
9	625	40,19	19,825	119,35	0,17	0,01
10	650	40,19	19,825	30,12	0,04	0,00

Berikut Grafik Prediksi Umur Operasi Tube Heater Ø 6" Sch. 40



Gambar 8. Grafik Perkiraan Umur Pakai Tube 212 -H-2/3 OD 6"

operasi sebesar 21 kg/cm², bila dioperasikan pada temperatur 520°C (lihat Gambar 8).

Daftar Acuan

- [1] **Annual Book of ASTM Standards Volume 01.01 A 335, 2006**, "Standard Specification for Seamless Ferritic Alloy Steel Pipe for High Temperature Service", American Society for Testing and Materials, 1916 Race St, Philadelphia.
- [2] **Annual Book of ASTM Standards Volume 03.01 E 139, 2006**, "Standard Test Methods of Conducting Creep, Creep-Rupture and Stress-Rupture Test of Metallic Materials", American Society for Testing and Materials, 1916 Race St, Philadelphia.
- [3] **API Recommended Practice 530, 2004**, "Recommended Practice for Calculation of Heater Tube Thickness in Petroleum Refineries", Washington, D.C.
- [4] **B.J Cane and John W., 1992**, "Remaining Life Assesment Seminar", ERA Technology Leatherhead-UK.
- [5] **George E. Dieter, 1988**, "Mechanical Metallurgy", Mc. Graw-Hill Book Company, New York.
- [6] **Garofalo, Frank, 1995**, "Fundamental of Creep and Creep Rupter in Metal", Mac millan, New York

4. Kesimpulan

1. Dari hasil pemeriksaan *metallography* (struktur mikro), pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan dan pengujian tarik statis menunjukkan bahwa material *Tube Heater* memenuhi spesifikasi standard material ASTM A 335 Grade P5.
2. Dari hasil pengujian *creep* pada material *Tube Heater* didapat kurva *master Larson-Miller Parameter* (LMP) v.s Tegangan. Dari hasil proses ekstrapolasi terhadap grafik LMP v.s Tegangan, maka didapat tabel 6 dan tabel 7 yang merupakan perkiraan umur operasi dari *Tube Heater*.
3. Dari hasil perhitungan maka dapat diprediksi bahwa umur operasi dari *Tube Heater* akan mencapai 100.000 jam dengan faktor keamanan (*safety factor*) sebesar 1,6 dan tekanan

- [7] **Haryadi, Mukson, 1990**, “*Penerapan Metoda RLA Terhadap Komponen Kritis dari Refinery / Petrochemical Plant*”, Bimbingan Keahlian Teknik Inspeksi Lanjutan,.
- [8] **Japan Mech. Eng. Assc. 1993**, “*Tecnique for Remaining Life Assessment*”, Gihodo Publisher, Tokyo
- [9] **J.M Bear, and A Akermad, 1998**, “*Probabilistic Remanent Life Assesment of Platformer Fired Heater Tubes*”, Final Report.
- [10] **R. Viswanathan, 1993**, “*Damage Mechanisms and Life Assessment of High-Temperature Components*”, ASM International, Mats Park, Ohio.

Riwayat Penulis

Hadi Sunandrio, lahir di Jakarta, 06-11-1960. Menamatkan pendidikan S1 Jurusan Teknik Mesin di Universitas Indonesia. Menamatkan S2 Jurusan Teknik Mesin Bidang Manufaktur di ISTN. Bekerja sebagai Peneliti bidang Material di B2TKS BPP Teknologi dari Tahun 1988 sampai sekarang. mendalami keahlian di bidang Metalurgi, Analisis Kerusakan (*Failure Analysis*) dan Penentuan Sisa Umur (*Remaining Life Assessment*) komponen.

Rinaldi, lahir di Kampung Dalam, 25-08-1972, Pendidikan S1 di Universitas Negeri Padang (UNP) Jurusan Teknik Mesin Tamat Tahun 1996. Pendidikan S2 di ISTN, Jurusan Teknik Mesin Bidang *Engineering Product And Manufacture*, tamat tahun 2003. Bekerja sebagai Dosen Tetap Pada Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru, Program Studi S1 Teknik Mesin.