



TUGAS AKHIR – TM 095502

**ANALISA KEBOCORAN EXPANSION JOINT
NO. 5 PADA HRSG UNIT 3.1 DI PT. PJB UP
GRESIK DENGAN MENGGUNAKAN
METODE THERMOGRAPHY**

**HENDRA EKA PRASETYA PUTRA
NRP 2112 030 038**

**Dosen Pembimbing :
Ir. Arino Anzip, M.Eng.Sc
NIP. 19610714 198803 1 003**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA 3 TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT – TM 095502

**EXPANSION JOINT NO. 5 ON HRSG 3.1
UNIT LEAKAGE ANALYSIS AT PT. PJB UP
GRESIK WITH THERMOGRAPHY
METHOD**

**HENDRA EKA PRASETYA PUTRA
NRP 2112 030 038**

**Counselor Lecturer :
Ir. Arino Anzip, M.Eng.Sc
NIP. 19610714 198803 1 003**

**DIPLOMA 3 STUDY PROGRAM
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institute Technology of Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**

**ANALISA KEBOCORAN EXPANSION JOINT NO. 5 PADA
HRSG UNIT 3.1 DI PT. PJB UP GRESIK DENGAN
METODE THERMOGRAPHY**

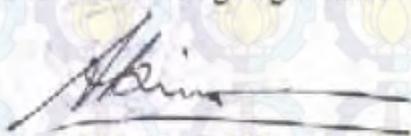
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada
Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi Diploma III Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Hendra Eka Prasetya Putra
NRP. 2112030038

Disetujui Oleh,
Dosen Pembimbing Tugas Akhir


Ir. Ariyo Anzip, M.Eng.Sc
NIP. 19610714 198803 1 003

SURABAYA, JANUARI 2016

ANALISA KEBOCORAN EXPANSION JOINT NO. 5 PADA HRSG UNIT 3.1 DI PT. PJB UP GRESIK DENGAN MENGGUNAKAN METODE THERMOGRAPHY

Nama Mahasiswa : Hendra Eka Prasetya Putra
NRP : 2112 030 038
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Arino Anzip, M.Eng.Sc

ABSTRAK

Kebocoran gas pada Expansion Joint dapat terdeteksi dengan dilakukannya predictive maintenance yaitu dengan menggunakan metode Thermography.

Dalam penelitian ini objek yang digunakan adalah Expansion joint no. 5 pada HRSG unit 3.1 di PT. PJB UP GRESIK., penelitian dimulai dengan observasi data dan studi beberapa literature terkait, dilanjutkan dengan mentoring bersama teknisi predictive maintenance, kemudian dilakukan pengambilan gambar actual serta gambar thermography sesuai dengan SOP (Standard Operational Procedure). Pengambilan gambar inframerah dilakukan dengan menggunakan kamera inframerah FLIR T640. Setelah dilakukan pengambilan gambar maka dilakukan analisa dari gambar thermography yang didapat berdasarkan standart EPRI (Electric Power Research Institute).

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa kebocoran expansion joint diakibatkan oleh adanya 3 hal yaitu ekspansi thermal yang berlebihan, masuknya exhaust gas dari turbin gas kedalam lapisan dalam hingga ke lapisan terluar expansion joint dan pemakaian yang melebihi lifetime expansion joint. Setelah dilakukan perawatan dengan penggantian expansion joint, temperatur expansion joint pada saat mengalami kebocoran adalah 196.2°C menurun menjadi 72.5°C serta differential temperatur yang sebelumnya critical yaitu 128.5°C turun menjadi temperatur normal yaitu 4.8°C

Kata kunci : Thermography, Kamera Inframerah FLIR T640, Expansion Joint

EXPANSION JOINT NO. 5 ON HRSG 3.1 UNIT LEAKAGE ANALYSIS AT PT. PJB UP GRESIK WITH THERMOGRAPHY METHOD

Student Name : Hendra Eka Prasetya Putra
NRP : 2112 030 038
Department : D3 Mechanical Engineering FTI-ITS
Counselor Lecturer : Ir. Arino Anzip, M.Eng.Sc

ABSTRACT

The leakage of the expansion joint can be detected by thermography method of predictive maintenance

In this research, the object which used is Expansion joint no. 5 on HRSG 3.1 unit at PT. PJB UP GRESIK. The research started from collecting some data at PT. PJB UP GRESIK, and study some literature, continued by mentoring with the technician of predictive maintenance, and then captured some actual picture with some thermography picture based on the SOP (Standard Operating Procedure). The picture was taken by using the FLIR T640 infrared camera. The result from the picture that have been taken will be analyzed based on the standard table of EPRI (Electric Power Research Institute).

From the research, leakage of the expansion joint are caused by an over thermal expansion, the exhaust gas from gas turbine enter the inner layer to the outer layer of expansion joint and the used of expansion joint that exceeds its lifetime. After maintenance with replacement of expansion joint, the temperature when the expansion joint leaked is 196.2°C decreased to 72.5°C and the differential temperature when the status was critical is 128.5°C decreased to a normal temperature that is 4.8°C

Keyword : Thermography, Infrared Camera FLIR T640, Expansion Joint

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah Subhānahu Wa Ta'Ala atas berkah, rahmat dan pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“Analisa Kebocoran Expansion Joint no. 5 pada HRS Unit 3.1 Di PT. PJB UP GRESIK Dengan Menggunakan Metode Thermography”**. Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi sebelum menyelesaikan pendidikan di Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS yang merupakan integrasi dari semua materi yang telah diberikan selama perkuliaan.

Pada proses penyusunan tugas akhir ini, penulis terus mendapatkan doa, bantuan serta motivasi dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih serta penghargaan yang sebesar – besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Arino Anzip M.Eng.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan ilmu, saran serta bimbingannya sehingga penulis mampu menyelesaikan pengerjaan tugas akhir.
2. Bapak Ir. Suhariyanto, M.Sc. selaku Koordinator Program Studi Diploma D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
3. Ibu Liza Rusdiyana S.T., M.T. selaku koordinator tugas akhir.
4. Bapak Ir. Denny M.E. Soedjono, M.T., Bapak Ir. Syamsul Hadi, M.T. dan Ibu Ir. Sri Bangun Setyawati M.T. selaku dosen penguji sidang tugas akhir.
5. Bapak Ir. Nur Husodo, M.Sc. selaku dosen wali.
6. Orang tua dan adik – adik tercinta beserta seluruh keluarga dan kerabat yang selalu memberikan dukungan dan doa.
7. Pak Fuad, Pak Tukiman selaku pembimbing di PT PJB UP GRESIK yang telah membantu dan membimbing kami selama kami melakukan penelitian di perusahaan.

8. Seluruh dosen dan staff pengajar Program Studi D3 Teknik Mesin FTI – ITS, yang telah memberikan ilmunya selama duduk di bangku kuliah.
9. Andik Febriansyah, Ahmad Dwi Yan S., Bima Aditya K.B., Eko Yulianto, Dian Rana Lestari dan Teman – teman D3 Teknik Mesin ITS angkatan 2012 atas segala motivasinya.
10. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, saya mengucapkan terima kasih.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini masih belum sempurna, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis berdoa agar segala bantuan yang diberikan akan mendapat balasan dan rahmat dari Allah Subhānahu Wa Ta'Ala. Dan semoga hasil dari laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagaimana yang diharapkan. Amin

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Manfaat	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB II DASAR TEORI	
2.1. Predictive Maintenance	5
2.1.1. Manfaat dan Tujuan Predictive Maintenance	6
2.1.2. Metode Predictive Maintenance	8
2.1.2.1 Analisa Vibrasi	8
2.1.2.2 Thermography	9
2.1.2.3 Proses Parameter	10
2.1.2.4 Ultrasonic	11
2.1.2.5 Visual Inspection	11
2.1.2.6 Tribology	12
2.2 Thermography	13
2.2.1 Definisi Thermography	14
2.2.2 Jenis Alat – Alat Ukur Thermography	17
2.2.3 Cara Pengukuran IRC (Infrared Camera)	19
2.3. Radiasi	24
2.3.1 Radiasi Thermal	24
2.3.2 Blackbody	25
2.4. Fault Tree Analysis (FTA)	26
2.5. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)	28

2.6. Expansion Joint	29
2.6.1. Jenis – Jenis Expansion Joint.....	32
2.6.1.1 Metal Expansion Joint	32
2.6.1.2 Rubber Expansion Joint	33
2.6.1.3 Fabric Expansion Joint	33
2.6.1.4 PTFE Expansion Joint	36
2.6.2. Lapisan Fabric Expansion Joint	36

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metodologi Pengujian.....	40
3.2. Peralatan Ukur Thermography.....	41
3.3. Obyek Pengukuran Termografi.....	49
3.4. Skematik Prosedur Pengukuran Termografi.....	50
3.5. Data Hasil Pengukuran Thermography.....	51

BAB IV ANALISA DATA

4.1. Hasil Thermography.....	53
4.2. Standart of Thermography Inspection	55
4.3. Analisa Penyebab Kebocoran Gas	59
4.4. Analisa Efek dari Kebocoran Expansion Joint	62
4.5. Pengujian Ulang dan Hasil Setelah Maintenance.....	63
4.6. Pembahasan Maintenance.....	66

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	67
5.2. Saran	67

DAFTAR PUSTAKA

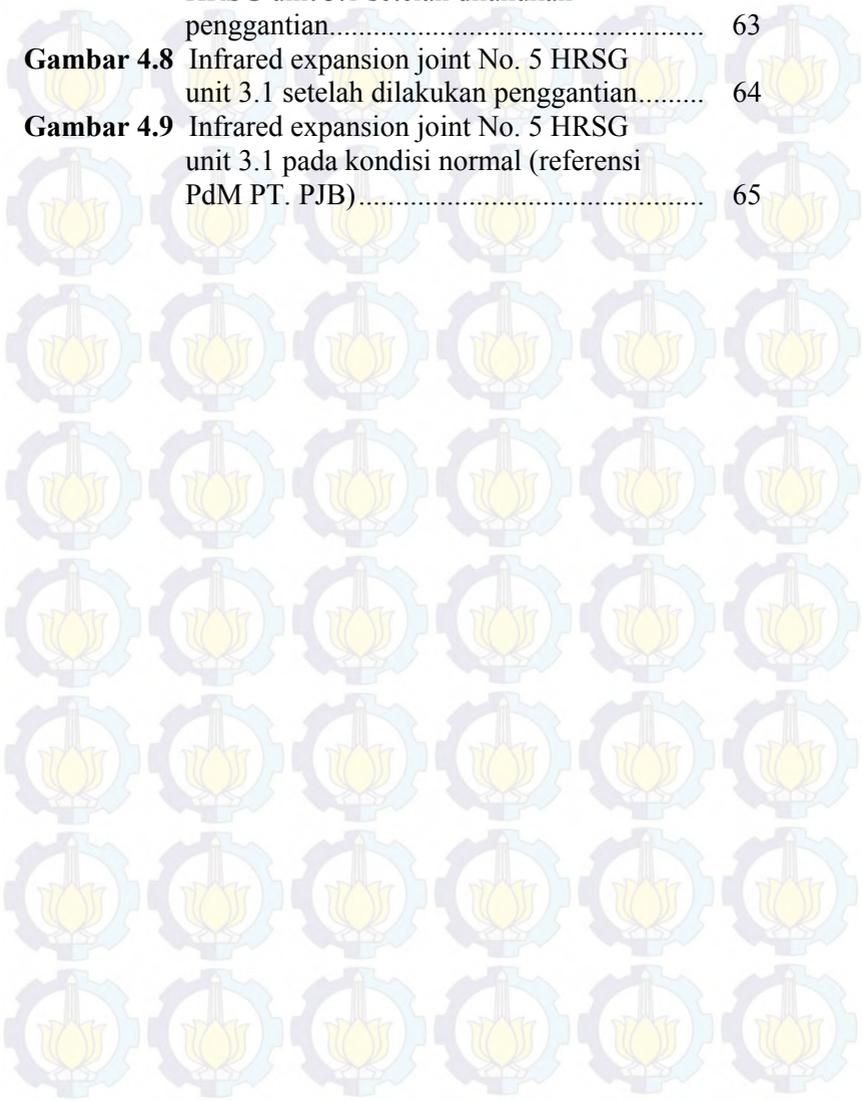
LAMPIRAN

BIOGRAFI PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Analisa Vibrasi	9
Gambar 2.2	Proses Thermography.....	10
Gambar 2.3	Emisi Energi.....	15
Gambar 2.4	Emisi Blackbody	16
Gambar 2.5	Emisi Graybody	16
Gambar 2.6	Thermometer Inframerah	18
Gambar 2.7	Line Scanner	18
Gambar 2.8	Inframerah Camera	19
Gambar 2.9	Pengukuran Thermography	19
Gambar 2.10	Contoh Hasil Thermography (inframerah)..	22
Gambar 2.11	Contoh Hasil Thermography (actual).....	22
Gambar 2.12	Radiasi dari Benda Panas	25
Gambar 2.13	Skematik Penempatan Expansion Joint	32
Gambar 2.14	Metal Expansion Joint.....	32
Gambar 2.15	Rubber Expansion Joint	33
Gambar 2.16	Elastomer Expansion Joint.....	34
Gambar 2.17	Komposit Expansion Joint	35
Gambar 2.18	PTFE Expansion Joint.....	36
Gambar 2.19	Anatomi Fabric Expansion Joint.....	36
Gambar 3.1	Flow Chart Metodologi Penelitian	41
Gambar 3.2	Camera Flir T640	41
Gambar 3.3	Spesifikasi Fabric Expansion Joint	49
Gambar 3.4	Flow Chart Prosedur Pengukuran Thermography	50
Gambar 4.1	Gambar Aktual Expansion Joint No. 5 HRSG unit 3.1	53
Gambar 4.2	Infrared Expansion Joint No. 5 HRSG unit 3.1	54
Gambar 4.3	Infrared Expansion Joint No. 5 HRSG unit 3.1 pada kondisi normal (referensi PdM PT. PJB).....	55
Gambar 4.4	Diagram Fault Tree Analysis penyebab kerusakan expansion joint	57
Gambar 4.5	Deformasi atau retakan (crack) pada metal liner (baffle) expansion joint	60

Gambar 4.6	Deformasi casing HRSG.....	61
Gambar 4.7	Gambar aktual expansion joint No. 5 HRSG unit 3.1 setelah dilakukan penggantian.....	63
Gambar 4.8	Infrared expansion joint No. 5 HRSG unit 3.1 setelah dilakukan penggantian.....	64
Gambar 4.9	Infrared expansion joint No. 5 HRSG unit 3.1 pada kondisi normal (referensi PdM PT. PJB).....	65



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Emisivitas Benda	21
Tabel 2.2	Standart Tabel Tindakan dari Thermography ...	23
Tabel 2.3	Range Panjang Gelombang pada Warna	25
Tabel 2.4	Istilah dalam metode Fault Tree Analysis	27
Tabel 2.5	Simbol – simbol dalam Fault Tree Analysis.....	28
Tabel 4.1	Standart Tabel Tindakan dari Thermography ...	56
Tabel 4.2	Tabel Failure Mode and Effect Analysis	58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia terdapat berbagai macam unit pembangkitan listrik. Energi listrik dari unit pembangkitan tersebut diperoleh tergantung pada jenis pembangkitnya. PT PJB Unit Pembangkitan Gresik merupakan salah satu unit pembangkit listrik yang terhubung dalam sistem interkoneksi Jawa-Bali. PT PJB ini mengoperasikan 3 jenis mesin pembangkit, yaitu PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas), PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) dan PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap). Sebagai produsen penghasil listrik, PLTGU PT PJB melayani kebutuhan listrik wilayah pulau Jawa dan Bali. Untuk dapat menjaga kinerja dari sebuah peralatan serta untuk dapat mengoptimalkan proses produksi dari PT PJB Unit Pembangkitan Gresik dibutuhkan metode perawatan yang baik dan tepat sehingga proses distribusi listrik tidak terhambat. Metode perawatan utama yang digunakan pada PT PJB Unit Pembangkitan Gresik diantaranya predictive maintenance, preventive maintenance, dan corrective maintenance.

Pada Expansion Joint PLTGU PT PJB UP Gresik yang menyambungkan antara bypass stack yang menerima gas buang bersuhu tinggi dari gas turbin dengan HRSG (Heat Recovery Steam Generator), Salah satu perawatannya menggunakan predictive maintenance yang dengan metode analisis Thermography. Dengan melakukan pengamatan thermal atau suhu yang terdeteksi di expansion joint secara berkala, maka sesuatu yang tidak normal dari expansion joint dapat dideteksi sebelum kerusakan yang lebih besar atau fatal terjadi. Penting untuk dikemukakan disini bahwa karakteristik panas yang dihasilkan oleh suatu kerusakan bersifat unik, sehingga dengan menganalisis warna yang ditangkap oleh kamera inframerah khusus, tingkat kerusakan yang berupa kebocoran gas buang turbin yang bersuhu tinggi dapat ditentukan. Kelebihan dari cara ini adalah bahwa kebutuhan perbaikan akan kebocoran gas dan tingkat parah tidaknya kebocoran dapat diketahui tanpa membongkar atau

menghentikan suatu mesin. Penerapan analisis Thermography telah dibuat mudah dengan adanya kamera infra merah khusus yang kemudian hasilnya diolah menggunakan software. Dari analisis tersebut didapat data termogram yang dapat membaca tingkat suhu panas yang tampak bocor dari expansion joint

Kebocoran pada expansion joint yang sudah terlihat parah harus segera diantisipasi karena gas panas yang bocor dari expansion joint yang memiliki suhu sangat tinggi dapat membahayakan para pekerja disana dan dapat berakibat pada kegagalan sistem PLTGU karena berkurangnya gas buang dari turbin yang dialirkan melalui bypass stack ke HRSG.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada tugas akhir kali ini adalah :

1. Bagaimanakah cara melakukan predictive maintenance dengan metode Thermography ?
2. Faktor apa saja yang menyebabkan terjadinya kebocoran pada expansion joint ?
3. Bagaimana cara menanggulangi kebocoran yang terjadi pada expansion joint ?

1.3 Tujuan

1. Mampu memahami tentang predictive maintenance expansion joint dengan metode Thermography
2. Mampu mengetahui kerusakan yang ada di expansion joint
3. Mengetahui maintenance yang dilakukan terhadap expansion joint

1.4 Batasan Masalah

1. Alat yang digunakan untuk Thermography adalah Camera FLIR T640
2. Komponen yang dianalisa adalah expansion joint nomor 5 HRSG unit 3.1

3. Data yang didapat dari Thermography predictive maintenance PLTGU, RENDAL HAR PLTGU Blok 3, dan perpustakaan PT PJB UP GRESIK
4. Analisa yang digunakan berdasarkan predictive maintenance dengan metode Thermography

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan oleh penulis ini nantinya adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui cara perawatan yang dilakukan untuk menanggulangi kerusakan yang lebih parah
2. Mengetahui kondisi yang sebenarnya dari keadaan sehingga jika mulai terjadi keabnormalan keadaan, kita dapat melakukan tindakan perbaikan secepatnya
3. Menambah pengetahuan bagi penulis dan pembaca makalah ini tentang Thermography
4. Menambah perbendaharaan makalah mengenai Thermography

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bagian ini diuraikan latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

- **BAB II DASAR TEORI**

Pada bagian ini diuraikan beberapa landasan teori dan hasil penelitian sebelumnya.

- **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bagian ini akan diuraikan metode penelitian, diagram alir langkah penelitian, peralatan ukur Thermography, spesifikasi expansion joint dari perusahaan, prosedur pengukuran Thermography dan data hasil pengukuran Thermography

- **BAB IV ANALISA DATA**

Dalam bab ini dibahas tentang analisa kerusakan expansion joint menggunakan metode Thermography sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan

- **BAB V PENUTUP**

Pada bagian ini berisi kesimpulan hasil penelitian serta saran - saran konstruktif untuk penelitian selanjutnya.

- **DAFTAR PUSTAKA**

- **LAMPIRAN**

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Predictive Maintenance

Predictive maintenance bukanlah metode yang ampuh untuk semua faktor-faktor yang menyebabkan kerusakan dari suatu peralatan di pabrik. Bahkan tidak dapat secara langsung mempengaruhi kinerja dari suatu pabrik. Perawatan prediktif pada dasarnya merupakan filosofi atau perilaku yang menggunakan kondisi operasi sesungguhnya dari peralatan untuk mengoptimalkan operasi pabrik.

Output dari perawatan dari program prediktif adalah data. Perawatan ini termasuk jenis “condition-based maintenance” dimana perubahan kondisi mesin atau peralatan dapat dideteksi sehingga tindakan yang bersifat proaktif dapat segera dilakukan sebelum terjadi kerusakan mesin (*Higgins, 2002*).

Dewasa ini, pola pemeliharaan prediktif dianggap lebih efektif dan efisien karena pemeliharaan dilakukan berdasarkan hasil pengamatan (monitoring) dan analisa untuk menentukan kondisi dan kapan pemeliharaan akan dilaksanakan, berbeda dengan pola pemeliharaan yang lain seperti pada pola pemeliharaan time base maintenance. Pada pola pemeliharaan time base maintenance, pemeliharaan dilakukan hanya berdasarkan pada jam operasi peralatan/komponen tanpa mempertimbangkan apakah peralatan tersebut masih baik atau tidak.

Pengembangan pola pemeliharaan prediktif, memanfaatkan berbagai peralatan test, peralatan monitoring yang telah dimiliki dan mengikuti berbagai metode analisis yang dapat diterapkan dalam meningkatkan kualitas pemeliharaan maupun kendala operasi pembangkit serta efektifitas dalam penggunaan biaya pemeliharaan itu sendiri.

Penggunaan dari teknologi predictive maintenance memungkinkan kinerja dari departemen perawatan dapat meningkat karena kondisi permesinan dapat diketahui dengan baik tanpa menghentikan jalannya mesin. Perawatan prediktif menunjukkan penyimpangan dari kondisi normal kerja mesin dan

dengan cara ini dapat memberikan cara yang lebih handal untuk mengetahui kerusakan yang sedang dan akan terjadi, dengan menunjukkan komponen yang rusak maka pihak manajemen dapat menyiapkan komponen sesuai kebutuhan yang diinginkan. Kunci utama perawatan prediktif adalah mendeteksi adanya kerusakan atau kesukaran yang akan terjadi atau impending trouble dan segera menyelesaikan masalah tersebut sebelum terjadinya kerusakan mesin atau machine breakdown.

Perawatan prediktif bekerja berdasarkan proses monitoring condition yang dilakukan terhadap peralatan yang diinginkan. Hasil dari proses ini adalah data – data hasil pengukuran atau pengujian yang selanjutnya data – data tersebut dibandingkan dengan data – data acuan yang telah diketahui sebelumnya (known engineering limit) untuk menentukan kondisi operasi dari peralatan tersebut. Teknik pemantauan yang umumnya digunakan dalam perawatan prediktif meliputi monitoring vibrasi, proses parameter, tribologi, metode thermography, inspeksi visual dan metode non – destructive testing seperti metode ultrasonic. (*Higgins, 2002*).

2.1.1 Manfaat dan Tujuan Predictive Maintenance

Manfaat dari Predictive Maintenance adalah :

- Memperpanjang hidup mesin

Karena predictive maintenance merupakan perawatan berdasarkan hasil pengamatan (condition monitoring) kita bisa mengetahui keadaan suatu mesin tersebut. Bila ada yang tiak normal di dalam mesin tersebut, secepatnya kita bisa memperbaiki mesin tersebut sebelum rusak. Sehingga kita bisa memperpanjang umur dari suatu mesin yang dilakukan predictive maintenance.

- Memperbaiki efiseiensi dari mesin beserta kinerjanya

Dengan memperbaiki keadaan suatu mesin tersebut, kita bisa memperbaiki mesin tersebut bila keadaan mesin tersebut tidak sesuai dengan kondisi normalnya. Setelah diperbaiki maka efisiensi dari mesin tersebut beserta kinerjanya akan naik.

- Digunakan untuk manajemen perawatan

Setelah mendapatkan data – data dari predictive maintenance kita bisa melakukan manajemen perawatan di *plant* tersebut. Manajemen perawatan akan mengurangi biaya perawatan dan juga dapat meminimalisasikan proses *breakdown* yang tidak terjadwal.

- Predictive maintenance digunakan sebagai alat peningkat keandalan suatu peralatan

Predictive maintenance digunakan supaya peralatan tersebut selalu dalam kondisi handal dan tangguh ketika digunakan.

- Memberikan data – data hasil pengukuran yang dapat digunakan untuk evaluasi, modifikasi dan perbaikan peralatan di kemudian hari.

Dengan diketahuinya data – data dari predictive maintenance kita bisa menjadwalkan perawatan rutin (*preventive maintenance*) dan bisa mengevaluasi peralatan – peralatan baik yang baru maupun yang sudah lama berdasarkan data tersebut.

Keuntungan utama penerapan perawatan prediktif adalah meningkatkan kesiapan peralatan pabrik karena keandalan mesin yang lebih bagus. Kecenderungan rusaknya mesin dimasa mendatang dapat diantisipasi dengan baik sehingga dengan demikian aktivitas perawatan yang direncanakan akan cocok dengan jadwal shutdown peralatan. Keuntungan lain yang didapat adalah berkaitan dengan menurunnya biaya spare part peralatan dan upah buruh. Mesin yang mengalami kerusakan selama beroperasi akan menyebabkan biaya perbaikan kira - kira 10 kali lebih besar dibandingkan bila kegiatan repair dilakukan sesuai jadwal. Banyak kasus terjadi dimana mesin mengalami kerusakan setelah startup dimana hal ini biasanya terjadi karena *built – in defect* maupun pemasangan yang tidak sesuai prosedur. Teknik perawatan prediktif dapat digunakan untuk menjamin alignment (*R. Krith Mobley, 2002*).

- ❖ Mengurangi atau meminimumkan kerusakan peralatan
- ❖ Memperbaiki efisiensi mesin dan kinerjanya

- ❖ Data menciptakan petunjuk perawatan prediktif
- ❖ Memberikan data – data hasil pengukuran yang dapat digunakan untuk modifikasi dan perbaikan peralalan di kemudian hari
- ❖ Memberikan metode untuk penerimaan mesin baru

2.1.2 Metode Predictive Maintenance

Berbagai teknologi dapat digunakan sebagai alat untuk melaksanakan program perawatan prediktif seperti :

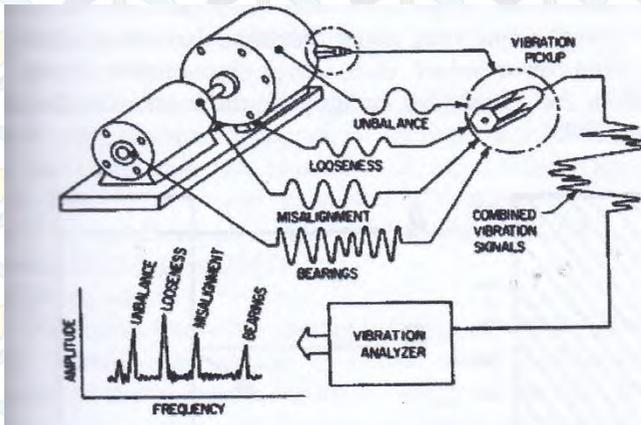
2.1.2.1 Analisa Vibrasi

Analisa vibrasi digunakan untuk menentukan kondisi operasi dari mesin dimana dalam metode ini dapat mendiagnosa terjadinya kelainan atau kerusakan pada mesin atau peralatan. Karena kebanyakan peralatan pabrik terdiri atas sistem elektro – mekanis maka analisa vibrasi telah menjadi metode utama dalam sistem perawatan prediktif. Dengan menggunakan metode ini, masalah atau kelainan yang terjadi pada peralatan dapat diidentifikasi lebih awal sebelum masalah tersebut menyebabkan kerusakan peralatan.

Problem yang muncul bisa meliputi bearing yang rusak, kelonggaran mekanis ataupun roda gigi yang pecah. Analisa vibrasi juga dapat mendeteksi adanya misalignment (ketidaklurusan poros) dan imbalance (ketidakseimbangan) yang terjadi pada berbagai peralatan. Pada hakekatnya semua rotating machinery menghasilkan getaran yang merupakan fungsi kelurusan (alignment) dan keseimbangan (balance) dari komponen yang berputar. Pengukuran intensitas getaran pada frekuensi tertentu dapat memberi informasi tentang ketepatan kelurusan poros dan keseimbangannya, kondisi bearing dan roda gigi serta pengaruh struktur permesinan terhadap resonansi mesin.

Analisa ini merupakan jenis metode yang efektif dan bersifat non – instructive serta cocok digunakan untuk memonitoring kondisi mesin selama start – up, shutdown, dan operasi normalnya. Analisa vibrasi ini biasanya digunakan untuk peralatan roda gigi. Peralatan yang digunakan untuk analisa vibrasi dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu sensor atau transducer yang dipasang pada machine housing atau bearing cup dan

analyzer atau vibration monitoring yang berfungsi mengolah data hasil pengukuran agar dapat digunakan untuk mendiagnosa masalah yang timbul. (Higgins, 2002).



Gambar 2.1 Proses Analisa Vibrasi
(R. Krith Mobley, 2002)

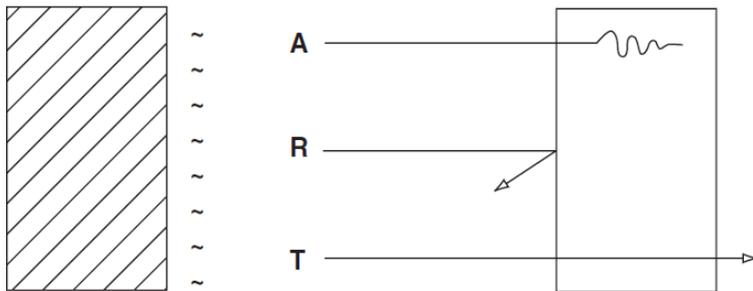
2.1.2.2 Thermography

Thermography merupakan teknik perawatan prediktif yang dapat digunakan untuk memonitoring kondisi mesin pabrik, struktur bangunan serta mesin dan peralatan listrik. Metode ini menggunakan instrumentasi yang dirancang untuk memonitoring emisi energi inframerah yang dikeluarkan oleh peralatan untuk menentukan kondisinya.

Dengan mengetahui anomali panas yang terjadi misalnya lokasi pada mesin yang lebih panas daripada yang seharusnya, seorang personel perawatan yang berpengalaman dapat menentukan problem yang sedang terjadi pada peralatan tersebut. Teknologi inframerah ini didasarkan atas kenyataan bahwa semua benda yang memiliki temperature diatas nol absolut akan memancarkan energi atau radiasi. Radiasi inframerah merupakan salah satu bentuk dari energi yang dipancarkan ini.

Emisi inframerah (below red) adalah panjang gelombang terpendek dari semua energy yang diradiasikan dan tidak dapat

dilihat oleh manusia tanpa menggunakan alat khusus. Intensitas radiasi inframerah dari suatu benda merupakan fungsi dari temperature permukaannya namun pengukuran temperature dengan menggunakan inframerah relative sulit. Hal ini terjadi karena adanya sumber energy panas yang dapat dideteksi dari setiap obyek yaitu energi yang dipancarkan oleh obyek itu sendiri, energi yang dipantulkan dari obyek dan energi yang ditransmisikan dari obyek (*Higgins, 2002*).



Gambar 2.2 Proses Thermography
(*Higgins, 2002*)

2.1.2.3 Proses Parameter

Kebanyakan pabrik tidak menganggap bahwa efisiensi mesin atau peralatan merupakan bagian dari perawatan prediktif namun demikian mesin yang tidak bekerja dengan efisiensi yang semestinya akan mengganggu kapasitas produksi pabrik.

Oleh karena itu program perawatan prediktif yang menyeluruh harus melibatkan monitoring secara rutin proses parameter. Sebagai contoh pentingnya proses parameter, perhatikan pentingnya fungsi pompa dalam menunjang operasi pabrik. Pengujian vibrasi dan thermography dapat digunakan untuk mengetahui kondisi mekanis dari pompa tersebut tetapi keduanya tidak dapat menjelaskan besarnya efisiensi operasi dari pompa. Bisa jadi kedua pengujian tersebut tidak menunjukkan sama sekali masalah yang bersifat mekanis tetapi pada

kenyataannya pompa tersebut beroperasi dengan efisiensi hanya kurang dari 50%. Jika proses parameter diterapkan pada suatu pompa maka diperlukan data – data seperti tekanan suction dan discharge serta besarnya arus listrik yang masuk ke motor listrik.

Monitoring proses parameter harus mencakup semua peralatan dan sistem yang berkaitan dengan proses di pabrik. Peralatan yang termasuk program ini meliputi pompa, kompresor, turbin, heat exchanger, fan, blower, ketel uap, dan beberapa sistem lainnya. Penerapan proses parameter dalam sistem perawatan prediktif harus dibarengi dengan penyediaan metode data akuisisi yang memadai (*Higgins, 2002*).

2.1.2.4 Ultrasonic

Pengujian ultrasonic merupakan metode untuk mengetahui kondisi operasi dari suatu peralatan dan material dengan menggunakan energi suara berfrekuensi tinggi sekitar 20 – 100 kHz. Metode ini didasarkan atas kenyataan bahwa kebanyakan mesin memancarkan pola suara yang konsisten selama beroperasi normal. Pola suara ini dapat didefinisikan dan dikenali dan perubahan – perubahan pola suara ini dengan mudah dapat diketahui pada saat komponen mesin mulai aus atau rusak. metode ultrasonic biasanya digunakan untuk 3 pemakaian utama yaitu :

- Analisa airborne noise
- Deteksi kebocoran fluida
- Pengujian material

2.1.2.5 Visual Inspection

Inspeksi visual terhadap mesin secara teratur merupakan bagian dari program perawatan prediktif. Dalam banyak hal, inspeksi visual akan dapat mendeteksi masalah yang mungkin terlewatkan dideteksi oleh metode perawatan prediktif lainnya. Inspeksi visual yang dilakukan secara rutin akan dapat membantu metode lainnya dan menjamin bahwa masalah yang serius dapat terdeteksi sebelum kerusakan terjadi.

Inspeksi visual sering dianggap sebagai tanggung jawab department produksi daripada sebagai teknik predictive maintenance. Banyak program perawatan mengabaikan program yang berguna ini. Sebagian besar dari program – program gagal

karenanya. Inspeksi visual penting untuk keberhasilan sebuah program. Biasanya metode inspeksi visual dapat diklasifikasikan menjadi 2 metode yaitu :

- Human senses
- Sensor

2.1.2.6 Tribology

Tribology merupakan istilah umum yang berhubungan dengan rancangan dan dinamika operasi dari mesin yang mempunyai proses pelumasan. Beberapa metode tribology yang umumnya di gunakan dalam perawatan prediktif meliputi :

a. Analisa Pelumas Bekas

Analisa pelumas bekas merupakan bagian penting dari proses perawatan preventif. Laboratorium meyarankan untuk pengambilan sampel pelumas mesin harus diambil sesuai yang dijadwalkan guna mengetahui kondisi pelumas yang sebenarnya.

b. Analisa Spectography

Merupakan metode tercepat dan lebih akurat untuk mengidentifikasi elemen yang terkandung dalam minyak pelumas elemen tersebut diklasifikasi menjadi *Wear Metals*, *Contamination*, dan *Additives*. Beberapa elemen dapat di masukkan dari salah satu atau lebih dari klasifikasi ini. Analisa pelumas sederhana tidak dapat menentukan bentuk yang kerusakan spesifik yang telah berkembang dalam mesin, karena itu teknik tambahan diperlukan sebagai bagian dari program predictive maintenance.

c. Ferrography

Ferrography hampir sama dengan spectography, perbedaannya adalah perbedaan pertama ferrography memisah partikel kontaminasi dengan menggunakan medan magnet sedangkan spectography membakar partikel yang dianalisa. Karena itu, teknik Perbedaan yang kedua yaitu ferrography dapat memisah dan menganalisis partikel kontaminasi yang lebih besar 10 μ m. Secara normal analisa ferrography dapat menangkap partikel diatas 100 μ m dan memberikan representasi yang lebih baik dari kontaminasi oli dari pada ferrography

d. Analisa Partikel Keausan.

Merupakan bagian analisa minyak pelumas tetapi hanya berorientasi pada artikel minyak pelumas . Jika analisa minyak pelumas menentukan kondisi actual dari contoh oli sedangkan analisa partikel keausan memberikan langsung informasi tentang keausan dari mesin. Partikel yang terkandung dalam pelumas mesin dapat memberikan informasi yang signifikan tentang kondisi mesin. Informasi ini didapat dari bentuk partikel, komposisi, ukuran dan jumlah. Metode analisa partikel keausan dibedakan menjadi dua.

Metode pertama digunakan untuk analisa keausan partikel yang secara rutin dimonitoring dan bentangan kandungan solid dari minyak pelumas mesin. Sederhananya, jumlah, komposisi, dan ukuran dari partikel yang terjadi pada minyak pelumas mengindikasikan kondisi mekanis dari mesin. Kedua yaitu mengumpulkan hasil analisa dari partikel yang terjadi pada tiap contoh pelumas.(*Higgins, 2002*).

2.2 Thermography

Temperatur dan perlakuan panas dari suatu peralatan pabrik, pembangkit listrik, sistem control, jaringan distribusi dan bahan – bahan penting lainnya adalah faktor terpenting dalam pemeliharaan operasi. Untuk alasan ini, temperatur sering dianggap sebagai kunci untuk berhasil tidaknya pemeliharaan suatu *plant*.

Sejauh ini metode pengukuran temperatur yang paling umum atau yang sering digunakan adalah dengan menggunakan metode konvensional, yaitu menggunakan thermometer dan termokopel. Pengukuran metode non – kontak (secara tidak langsung) dengan menggunakan sensor inframerah telah banyak menjadi alternatif pengganti metode konvensional. Dan dengan dibantu menggunakan *hardware* dan *software* dari computer, menjadikan perawatan prediktif menjadi lebih efisien.

Temperatur merupakan variabel utama pada hamper setiap situasi, baik dalam kehidupan sehari – hari maupun pada di dunia industry. Contohnya, jika pada tubuh kita terjadi penyimpangan temperatur dari suhu yang normal, maka kita akan merasa tidak enak badan. Jika kita memasak roti dengan suhu

yang terlalu tinggi maka rasa dari roti itu akan terasa tidak enak. Itu contoh dari pentingnya pengaruh temperatur dalam kehidupan sehari – hari.

Contoh di dunia industry adalah jika terjadi penyimpangan temperatur pada suatu peralatan industri, misalnya perubahan temperatur peralatan yang menjadi tinggi dari keadaan normal, akan mengakibatkan rusaknya material dari mesin itu. Material tersebut akan meleleh, berubah bentuk, dan sebagainya. Akibatnya, efisiensi dari mesin tersebut akan menurun secara drastis.

Penjagaan temperatur itu penting, jika kita mampu mengontrolnya secara sempurna berarti kita akan mendapatkan kualitas alat yang baik, keamanan yang lebih baik serta lebih menghemat uang.

Keuntungan menggunakan thermography :

- Tidak adanya kontak langsung dalam pemakaian
 1. Menjauhkan operator dari bahaya
 2. Operator tidak mempengaruhi target pengukuran
- Hasilnya bersifat 2 dimensi :
 1. Pola panas dapat divisualisasikan dengan baik
 2. Gambar yang dihasilkan jelas
- Hasilnya bersifat real time :
 1. Mampu melihat obyek yang bergerak cepat
 2. Mampu menangkap pola panas yang berubah dengan cepat
 3. Mampu melihat panas dengan cepat pada target yang diam

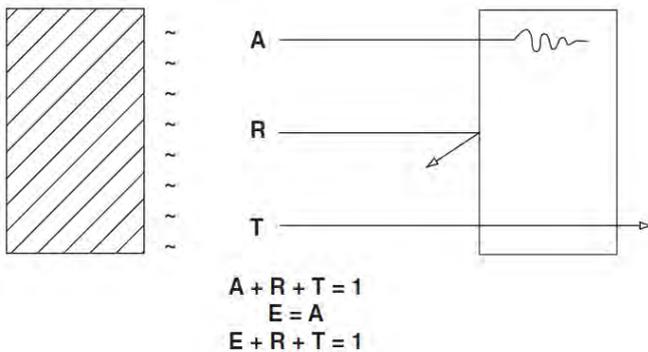
2.2.1 Definisi Thermography

Seperti yang telah dijelaskan diatas, thermography merupakan teknik perawatan prediktif yang dapat digunakan untuk memonitor kondisi mesin pabrik, struktur bangunan serta mesin dan peralatan listrik. Metode ini menggunakan instrumentasi yang dirancang untuk memonitor emisi energi inframerah yang dikeluarkan oleh peralatan untuk menentukan kondisinya.

Dengan mengetahui anomali panas yang terjadi misalnya lokasi pada mesin yang lebih panas daripada yang seharusnya. Seorang personel perawatan dapat menentukan problem yang

sedang terjadi pada peralatan tersebut. Teknologi inframerah ini atas kenyataan bahwa semua benda yang memiliki temperatur di atas nol absolut akan memancarkan energi atau radiasi. Radiasi inframerah merupakan salah satu bentuk dari energi yang dipancarkan ini.

Emisi inframerah (below red) adalah panjang gelombang terpendek dari semua energy yang diradiasikan dan tidak dapat dilihat oleh manusia tanpa menggunakan alat khusus. Intensitas radiasi inframerah dari suatu merupakan fungsi dari temperatur permukaanya namun pengukuran temperatur dengan menggunakan metode inframerah relative sulit . Hal ini terjadi karena adanya 3 sumber energi panas yang dapat dideteksi dari setiap obyek yaitu energi yang dipancarkan oleh obyek itu sendiri, energi yang dipantulkan dari obyek dan energi yang ditransmisikan dari obyek.

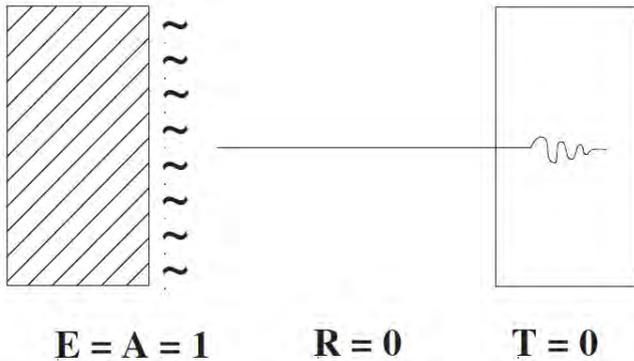


Gambar 2.3 Emisi Energi
(Higgins, 2002)

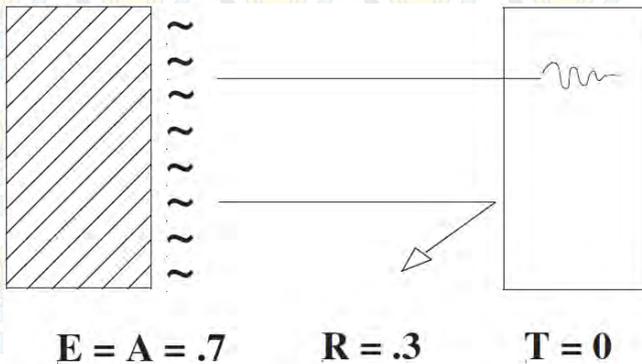
Dalam konsep perawatan prediktif hanya energi yang dipancarkan saja yang dipertimbangkan sedang reflected (yang dipantulkan) dan transmitted energy (energi yang ditransmisikan) hanya akan mengganggu data yang di peroleh. Oleh karena itu , kedua bentuk energi tersebut harus difilter dulu sebelum data-data yang benar-bisa diperoleh.

Kondisi permukaan suatu objek akan mempengaruhi energi yang dipancarkan atau dipantulkan. Permukaan yang

mampu memancarkan energi secara sempurna disebut “*blackbody*” yang mempunyai emivisitas sama dengan 1. Permukaan ini tidak memantulkan energi tetapi akan menyerap energi dari luar dan kemudian memancarkan kembali dalam bentuk inframerah permukaan yang memantulkan energi disebut sebagai “*graybody*” dan mempunyai emivisitas kurang dari 1. Kebanyakan peralatan pabrik masuk dalam kategori ini.



Gambar 2.4 Emisi blackbody
(Higgins, 2002)



Gambar 2.5 Emisi Graybody
(Higgins, 2002)

3 proses yang telah disebutkan atas (refleksi, absorbs, dan transmisi) dapat dwakilkan oleh beberapa koefisien, ρ untuk

koefisien refleksi, α untuk koefisien absorbs (penyerapan), serta r untuk koefisien (transmisi)

Dalam thermography, hanya karena kita mengetahui bagaimana cara mengambil gambar thermal kita juga harus dapat menganalisa gambar dan mengetahui akibat yang ditimbulkan dari ketidaknormalan suatu gambar yang diambil. Itu berarti kita harus mengetahui beberapa hal, yaitu teknik analisa, pengambilan gambar thermography, dan inspeksi rutin serta hasil dari perawatan prediktif yang dilakukan.

Infrared thermography mempunyai definisi sebagai berikut, infare thermography adalah ilmu akuisisi dan analisi informasi thermal (panas) dari alat pencitraan thermal yang tidak dilakukan menggunakan kontak langsung.

Thermography dapat diaplikasikan di berbagai bidang, antara lain

- Pemantauan kondisi suatu alat
- Penelitian dan pengembangan
- Medis dari manusia dan hewan
- Pengontrolan kualitas dan proses pemantauan
- Non – destructive test

IRT (Infrared Thermography) bukan satu – satunya cara untuk mengukur distribusi suhu permukaan. Akan tetapi, thermography mungkin yang paling baik karena bisa diterapkan pada permukaan yang kasar. Selain itu, alat ini bisa menghasilkan contoh gambar yang dapat diambil dari jarak tertentu tanpa menyentuh permukaan sama sekali. (*R. Keith Mobley, 2002*).

2.2.2 Jenis Alat – Alat Ukur Thermography

Dalam penggunaannya thermography mempunyai banyak jenis, namun yang biasa digunakan untuk predictive maintenance diantaranya :

- Thermometer Inframerah atau Spot Radiometer

Peralatan ini dirancang untuk menghasilkan actual surface temperature pada suatu titik pada mesin. Teknik ini biasanya digunakan untuk memonitor, kumparan kawat pada motor, suhu gasket atau spot checks of process piping temperature. Keterbatasan metode ini adalah bahwa cara ini hanya mengukur satu temperature pada suatu peralatan.



Gambar 2.6 Thermometer Inframerah

- Line Scanner

Jenis peralatan ini pada prinsipnya mampu memberikan data temperatur pada profil satu dimensi atau pada gambar 2 dimensi walaupun metode ini mampu menghasilkan bidang gambar yang lebih luas (tergantung luasan permukaan mesin) tapi pemakaiannya terbatas di perawatan prediktif..



Gambar 2.7 Line Scanner

- Inframerah Camera

Tidak seperti 2 peralatan sebelumnya, metode ini dapat merekam atau scan emisi inframerah secara komplit yang terjadi pada mesin, proses atau lingkungan dalam waktu yang pendek. Kebanyakan sistem ini beroperasi menyerupai kamera video di mana operator dalam melihat profil emisi panas dari suatu lokasi dengan hanya melihat melalui peralatan optik.

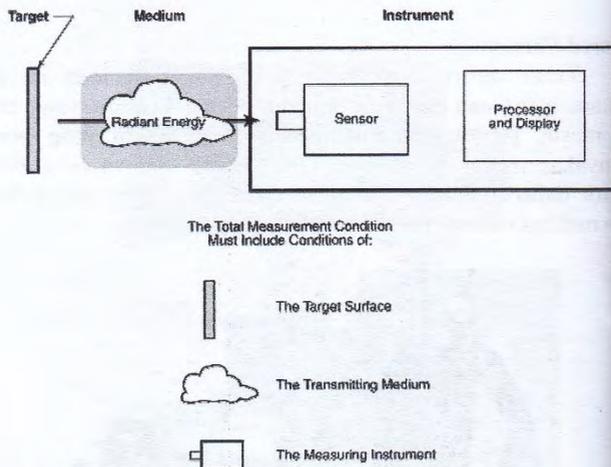


Gambar 2.8 Inframerah Camera

2.2.3 Cara Pengukuran IRC (Infrared Camera)

Ketika menggunakan infrared camera adapun ada 3 hal yang harus dipertimbangkan:

- a. Permukaan dari benda yang akan dilakukan proses thermography
- b. Media transmisi antara target (benda yang di thermography) dengan alat thermography
- c. Alat untuk thermography



Gambar 2.9 Pengukuran Thermography

Selain dari yang telah disebutkan diatas, ada pula hal – hal yang harus diperhatikan ketika kita akan melakukan pengambilan data untuk thermography, hal itu supaya para pekerja yang bekerja di bidang predictive maintenance dimudahkan dalam menganalisa data thermography, berikut hal – hal yang harus diperhatikan diantaranya :

- Cara kerja benda yang akan di thermography

Dengan mengetahui cara kerja benda yang akan di thermography, kita bisa mengetahui mana benda yang dalam kerjanya masih normal, dan benda yang berada pada kondisi tidak normal, dengan mengetahui anomali panas yang ada di benda tersebut. Anomali panas bisa diketahui melalui gambar yang diambil melalui *infrared camera*. Contohnya pada frame bearing pompa kita dapat mengetahui temperature normal dari bearing yang bekerja dan yang abnormal dengan membandingkan satu pompa dengan yang lain atau dengan menggunakan data history dari pompa tersebut, dengan syarat material dan jenis pompa yang digunakan untuk perbandingan sama.

- Emisivitas dari benda yang akan di thermography

Emisivitas adalah pertimbangan karakteristik bahan, khususnya yang berkaitan dengan kemampuan untuk menyerap, mengirimkan, atau memantulkan energy inframerah.

Dalam hal ini emisivitas berpengaruh untuk pengambilan gambar thermography. Jika kita tidak tahu emisivitas dari benda tersebut, maka kita akan kesulitan untuk melakukan penyetelan *temperature range*. Karena bila kita tidak mengetahui emisivitas dari benda tersebut, menentukan emisivitas dari benda tersebut, maka bila temperatur yang sebenarnya dari benda tersebut diatas dari yang kita setting, maka temperature sebenarnya tidak akan terbaca di kamera tersebut.

Emisivitas dari setiap benda berbeda – beda, berikut adalah contoh emisivitas dari setiap benda yang ada di dalam suatu *plant*.

Tabel 2.1 Emisivitas Benda

	Material	°F	°C	Emissivity
Metals Alloys	20-Ni, 24-CR, 55-FE, Oxidized	392	200	0.9
	20-Ni, 24-CR, 55-FE, Oxidized	932	500	0.97
	60-Ni, 12-CR, 28-FE, Oxidized	518	270	0.89
	60-Ni, 12-CR, 28-FE, Oxidized	1040	560	0.82
	80-Ni, 20-CR, Oxidized	212	100	0.87
	80-Ni, 20-CR, Oxidized	1112	600	0.87
	80-Ni, 20-CR, Oxidized	2372	1300	0.89
	Aluminum	Unoxidized	77	25
Unoxidized		212	100	0.03
Unoxidized		932	500	0.06
Oxidized		390	199	0.11
Oxidized		1110	599	0.19
Oxidized at 599°C (1110°F)		390	199	0.11
Oxidized at 599°C (1110°F)		1110	599	0.19
Heavily Oxidized		200	93	0.2
Heavily Oxidized		940	504	0.31
Highly Polished		212	100	0.09
Roughly Polished		212	100	0.18
Commercial Sheet		212	100	0.09
Highly Polished Plate		440	227	0.04
Highly Polished Plate		1070	577	0.06
Bright Rolled Plate		338	170	0.04

Untuk emisivitas benda yang lain ada didalam lampiran

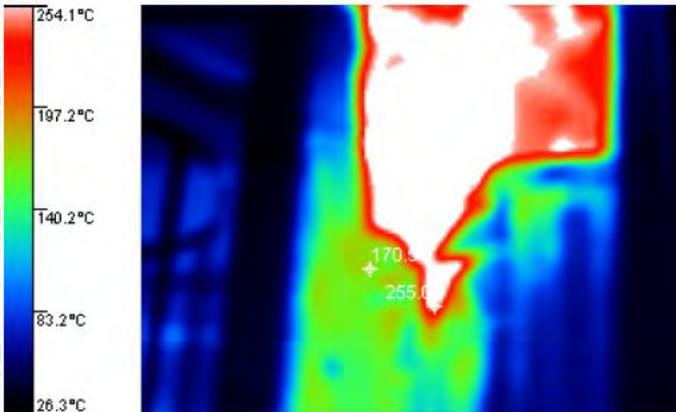
- Kondisi dari alat thermography

Sebelum dilakukan pengambilan thermography, maka sebaiknya dicek terlebih dahulu kondisi dari alat thermography diantaranya melakukan kalibrasi, pengecekan baterai, pengecekan memory card hal itu supaya kita bisa optimal dalam mengambil gambar thermography.

Ketika setelah melakukan pengambilan gambar, maka dilakukan analisa gambar tersebut, analisa dilakukan supaya kita bisa mengetahui tindakan apa yang harus dilakukan setelah kita mendapatkan gambar dari benda yang di thermography.

Cara pengukuran untuk melakukan thermography yaitu dengan cara membandingkan karakteristik termal yang berupa perbandingan temperatur antara titik yang dianalisis dengan titik referensi.

Titik referensi harus diambil dari benda yang sejenis yang mempunyai bentuk yang sama dari benda yang dianalisis. Untuk memudahkan memahami bagaimana cara pengukuran dengan thermography, bisa dilihat melalui gambar dibawah ini



Gambar 2.10 Contoh Hasil Thermography (Inframerah)



Gambar 2.11 Contoh Hasil Thermography (Aktual)

Setelah mengetahui adanya anomali panas di benda yang di thermography, maka setelah itu dilakukan analisa penyebab kerusakan engan bagaimana cara kerja benda itu atau apa fungsi dari benda tersebut.

Setelah dianalisa, maka akan dilakukan tindakan untuk menyelesaikan kerusakan yang ada di benda tersebut. Untuk tindakan yang akan dilakukan harus berdasarakan dasar – dasar yang sesuai, berikut adalah dasar – dasar tindakan yang harus dilakukan setelah dilakukan pengambilan gamabr dan analisa. Tindakan ini berdasarakan standart EPRI (*Electric Power Research Institute*).Berikut tabel tindakannya :

Tabel 2.2 Standart Tabel Tindakan dari Thermography

Standard of Thermography Inspection					
Differential Temp / Max Temp	< 5°C	5°C – 10°C	11°C – 20°C	21°C – 40°C	>40°C
< 75°C	Normal	Low	Medium	High	Critical
75°C – 100°C	Information of overloading	Medium	High	Critical	Critical
>100°C	Information of high overloading	Critical	Critical	Critical	Critical

Keterangan :

- Differential temperature adalah perbedaan temperature yang didapatkan dari titik yang dianalisa dengan titik referensi
- Masimal temperature adalah temperatur tertinggi dari benda yang di thermography
- Semua peralatan termasuk busbar, contractor, breaker, kabel, kapasitor, motor dan transformer yang mempunyai temperatur melebihi 75°C akan menurunkan performa dari peralatan yang di isolasi

- Umur dari suatu peralatan akan menurun setengah dari normalnya bila temperaturnya melebihi 10°C dari batas temperatur 75°C

Berikut adalah penjelasan tentang level dari anomali panas

Low : monitoring dan diperbaiki kalau memungkinkan
Medium : perbaiki dalam waktu selama 6 bulan
High : jadwalkan shutdown untuk perbaikan selama 30 hari
Critical : perbaiki secepatnya

- Masalah “Critical” harus diinformasikan secepatnya pada bagian yang terkait dengan peralatan tersebut

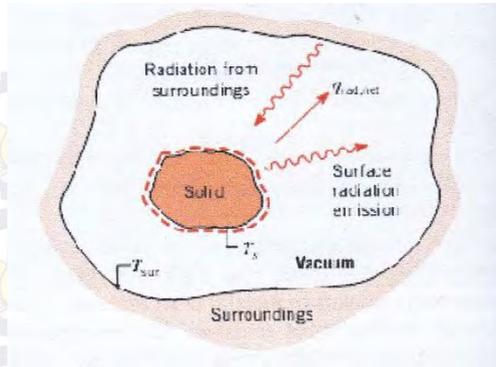
2.3 Radiasi

Radiasi adalah energy yang dipancarkan oleh material dalam bentuk elektromagnetik gelombang (atau foton) sebagai akibat dari perubahan konfigurasi elektronik dari atom atau molekul. Tidak seperti konduksi dan konveksi, transfer energi oleh radiasi tidak memerlukan adanya media perantara. Bahkan, transfer energi oleh radiasi adalah yang tercepat (pada kecepatan cahaya) dan tidak mengalami pelemahan dalam ruang hampa (*Yunus A Cengel second edition*)

2.3.1 Radiasi Thermal

Radiasi termal adalah emisi (pancaran) energi dari suatu material yang memiliki temperatur tertentu. Radiasi dapat dipancarkan baik oleh material padat, cair maupun gas. Mekanisme perpindahan panas secara radiasi ini dihubungkan dengan adanya perubahan konfigurasi elektron dari atom atau molekul material yang bersangkutan.

Perpindahan panas radiasi tidak memerlukan media (udara atau logam), setiap material yang memiliki temperature diatas nol mutlak memberikan beberapa energy radiasi. Artinya, segala sesuatu di sekitar kita seperti dinding, furniture, dan yang lainnya terus menerus memancarkan dan menyerap radiasi. (*Yunus A Cengel second edition*)



Gambar 2.12 Radiasi Dari Benda Panas

Tabel 2.3 Range Panjang Gelombang Pada Warna

The colors of the visible light spectrum^[1]

color	wavelength interval	frequency interval
red	~ 700–635 nm	~ 430–480 THz
orange	~ 635–590 nm	~ 480–510 THz
yellow	~ 590–560 nm	~ 510–540 THz
green	~ 560–490 nm	~ 540–610 THz
blue	~ 490–450 nm	~ 610–670 THz
violet	~ 450–400 nm	~ 670–750 THz

2.3.2 Blackbody

Sebuah blackbody didefinisikan sebagai emitor sempurna dan penyerap radiasi. Pada suhu dan panjanggelombang tertentu, tidak ada permukaan lain yang dapat memancarkan energi lebih baik dari blackbody. Blackbody menyerap semua insiden radiasi, terlepas dari panjang gelombang dan arah. Blackbody juga memancarkan energi radiasi secara merata ke segala arah per satuan normal arah.

Blackbody adalah sebuah benda yang dapat memancarkan suhu maksimum panas untuk temperatur mutlak. Benda yang

permukaannya berwarna gelap (hitam) memiliki emisivitas mendekati 1, sedangkan benda yang berwarna terang memiliki emisivitas mendekati 0.

Semakin besar emisivitas suatu benda (ϵ mendekati 1), semakin besar laju kalor yang dipancarkan benda tersebut. Sebaliknya, semakin kecil emisivitas suatu benda (ϵ mendekati 0), semakin kecil laju kalor yang dipancarkan. Kita bisa mengatakan bahwa benda yang berwarna gelap (warna hitam) biasanya memancarkan kalor lebih banyak dibandingkan dengan benda yang berwarna terang (warna putih).

Selisih antara laju perpindahan panas radiasi antara dua benda adalah menjadi ukuran untuk menentukan laju perpindahan panas radiasi dari kedua benda tersebut. Namun, harus kita ketahui, bahwa dari seluruh energi panas yang diradiasikan oleh suatu benda, tidak seluruhnya akan diterima oleh benda penerima radiasi. Ini tergantung pada nilai absorptivitas dari benda penerima tersebut. Benda blackbody, tidak hanya dapat mengirimkan seluruhnya energi panas yang diradiasikan, namun juga dapat menerima seluruh energi yang dipancarkan kepadanya. (*Yunus A Cengel second edition*)

2.4 Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi resiko yang berperan terhadap terjadinya kegagalan. Metode ini dilakukan dengan pendekatan yang bersifat *top down*, yang diawali dengan asumsi kegagalan atau kerugian dari kejadian puncak (*Top Event*) kemudian merinci sebab-sebab suatu *Top Event* sampai pada suatu kegagalan dasar (*root cause*).

Fault Tree Analysis merupakan metode yang efektif dalam menemukan inti permasalahan karena memastikan bahwa suatu kejadian yang tidak diinginkan atau kerugian yang ditimbulkan tidak berasal pada satu titik kegagalan. *Fault Tree Analysis* mengidentifikasi hubungan antara faktor penyebab dan ditampilkan dalam bentuk pohon kesalahan yang melibatkan gerbang logika sederhana.

Gerbang logika menggambarkan kondisi yang memicu terjadinya kegagalan, baik kondisi tunggal maupun sekumpulan dari berbagai macam kondisi. Konstruksi dari *fault tree analysis* meliputi gerbang logika yaitu gerbang AND dan gerbang OR. Setiap kegagalan yang terjadi dapat digambarkan ke dalam suatu bentuk pohon analisa kegagalan dengan mentransfer atau memindahkan komponen kegagalan ke dalam bentuk simbol (*Logic Transfer Components*) dan *Fault Tree Analysis*.

Tabel 2.4 Istilah dalam metode *Fault Tree Analysis*
(galihekapriminta.blogspot.co.id)

Istilah	Keterangan
<i>Event</i>	Penyimpangan yang tidak diharapkan dari suatu keadaan normal pada suatu komponen dari sistem
<i>Top Event</i>	Kejadian yang dikehendaki pada "puncak" yang akan diteliti lebih lanjut ke arah kejadian dasar lainnya dengan menggunakan gerbang logika untuk menentukan penyebab kegagalan
<i>Logic Event</i>	Hubungan secara logika antara input dinyatakan dalam AND dan OR
<i>Transferred Event</i>	Segitiga yang digunakan simbol transfer. Simbol ini menunjukkan bahwa uraian lanjutan kejadian berada di halaman lain.
<i>Undeveloped Event</i>	Kejadian dasar (<i>Basic Event</i>) yang tidak akan dikembangkan lebih lanjut karena tidak tersedianya informasi.
<i>Basic Event</i>	Kejadian yang tidak diharapkan yang dianggap sebagai penyebab dasar sehingga tidak perlu dilakukan analisa lebih lanjut.

Simbol - simbol dalam *Fault Tree Analysis* yang digunakan dalam menguraikan suatu kejadian disajikan pada tabel berikut ini :

Tabel 2.5 Simbol-simbol dalam *Fault Tree Analysis*
(galihekapriminta.blogspot.co.id)

Simbol	Keterangan
	<i>Top Event</i>
	<i>Logic Event OR</i>
	<i>Logic Event AND</i>
	<i>Transformed Event</i>
	<i>Undeveloped Event</i>
	<i>Basic Event</i>

2.5 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah pendekatan sistematis yang menerapkan suatu metode pentabelan untuk membantu proses pemikiran yang digunakan oleh *engineers* untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial dan efeknya. FMEA merupakan teknik evaluasi tingkat keandalan dari sebuah sistem untuk menentukan efek dari kegagalan dari sistem tersebut. Kegagalan digolongkan berdasarkan dampak yang diberikan terhadap kesuksesan suatu misi dari sebuah sistem.

Secara umum, FMEA (*Failure Modes and Effect Analysis*) didefinisikan sebagai sebuah teknik yang mengidentifikasi tiga hal, yaitu :

- Penyebab kegagalan yang potensial dari sistem, desain produk, dan proses selama siklus hidupnya,
- Efek dari kegagalan tersebut,
- Tingkat kekritisan efek kegagalan terhadap fungsi sistem, desain produk, dan proses.

Output dari *Process* FMEA adalah:

- Daftar mode kegagalan yang potensial pada proses.
- Daftar *critical characteristic* dan *significant characteristic*.
- Daftar tindakan yang direkomendasikan untuk menghilangkan penyebab munculnya mode kegagalan atau untuk mengurangi tingkat kejadiannya dan untuk meningkatkan deteksi terhadap produk cacat bila kapabilitas proses tidak dapat ditingkatkan.

Tujuan yang dapat dicapai dengan penerapan FMEA:

- Untuk mengidentifikasi mode kegagalan dan tingkat keparahan efeknya
- Untuk mengidentifikasi karakteristik kritis dan karakteristik signifikan
- Untuk mengurutkan pesanan desain potensial dan defisiensi proses

2.6 Expansion Joint

Expansion Joint digunakan untuk memungkinkan penambahan dan pengurangan induksi panas yang terjadi selama kondisi cuaca yang berbeda. Dalam konstruksi bangunan, Expansion Joint adalah pemisahan pertengahan struktur yang dirancang untuk menghilangkan stres pada bahan bangunan yang disebabkan oleh gerakan bangunan yang juga disebabkan oleh:

- Ekspansi dan kontraksi termal disebabkan oleh perubahan suhu
- Guncangan disebabkan oleh angin
- Peristiwa seismik

Karena membangun permukaan, beton dan perluasan pipa dan kontraksi karena pemanasan dan pendinginan dari variasi musim atau karena sumber panas lainnya, mereka akan retak

terkena tekanan jika Expansion Joint tidak dibangun ke dalam struktur ini.

Kegagalan Expansion Joint dapat terjadi karena: (www.corrosionpedia.com)

- Kerusakan pada saat pengiriman dan penganganan
- Instalasi yang tidak tepat
- Perlindungan yang tidak memadai
- Pemasangan, petunjuk dan informasi pemasangan yang tidak tepat
- Kegagalan pemasangan dalam perbaikan
- Korosi
- Tekanan system yang berlebihan
- Defleksi bellow, torsi, erosi bellow yang berlebihan
- Partikel di lilitan bellow

Expansion Joint diperlukan dalam sistem saluran udara yang besar untuk memungkinkan potongan perpipaan agar bebas dari tekanan ketika ekspansi termal terjadi. Lengkungan di siku juga dapat mengakomodasi ini. Expansion Joint juga mengisolirkan potongan peralatan seperti kipas dari membutuhkan saluran kerja yang kaku sehingga mengurangi getaran pada saluran kerja serta memungkinkan kipas untuk terekspansi tanpa mengakibatkan tekanan pada kipas atau bagian dari saluran kerja.

Expansion Joint dirancang untuk memungkinkan defleksi pada aksial (tekanan), lateral (geseran), atau angular (lengkungan). Expansion Joint dapat merupakan logam atau non-logam (sering disebut bellow tipe). Non-logam dapat merupakan satu lapisan bahan karet atau bahan komposit yang terbuat dari beberapa lapisan panas dan tahan erosi yang fleksibel. Lapisan yang khas adalah: cover penutup sebagai segel gas, bahan tahan korosi seperti Teflon, lapisan fiberglass sebagai insulator dan untuk menambah daya tahan, beberapa lapisan penutup untuk memastikan bahwa perpindahan panas dari gas buang berkurang untuk suhu yang diperlukan dan yang terakhir adalah lapisan dalam. Sebuah bellow terdiri dari serangkaian satu atau lebih lilitan logam untuk memungkinkan defleksi aksial, lateral, atau angular.

Ketika merancang sebuah Expansion Joint ke sistem apapun, penting untuk mengetahui kondisi di setiap wilayah operasi di mana Expansion Joint akan dipasang. Informasi ini penting, karena ada banyak jenis Expansion Joint yang tersedia dan penting untuk memastikan untuk mendapat pilihan yang tepat.

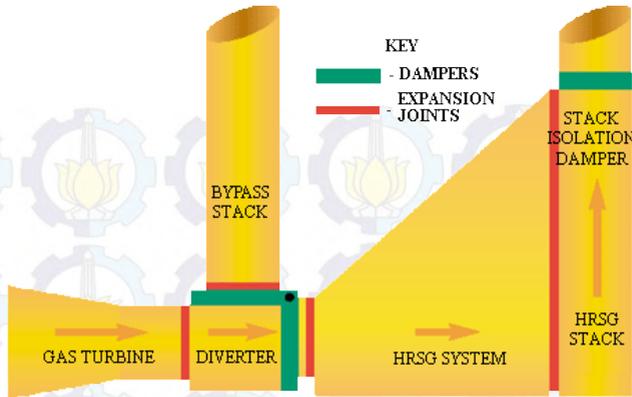
Expansion Joint digunakan di banyak sektor, antara lain:

Sektor energi:

- Tenaga Listrik
- Sistem pembersihan Gas Buang
- Sistem turbin gas
- Instalasi mesin Diesel
- Sistem pemanas District

Proses industri:

- Pabrik Petro-Kimia
- Kimia pabrik
- Pabrik Semen
- Pabrik Baja
- Industri Kelautan
- Mesin Konstruksi
- Bangunan Kapal
- Operator / Pemilik Kapal
- Pembuatan peralatan original
- Pabrik Pulp dan Paper
- Pengendalian Sistem Polusi
- Pembersih
- Pabrik perawatan air
- Pabrik perawatan saluran pembuangan
- Lokomotif
- Pertambangan dan Pemurnian
- Manifold
- Pasokan suku cadang



Gambar 2.13 Skematik Penempatan Expansion Joint

2.6.1 Jenis – Jenis Expansion Joint

Menurut fungsi dan bahannya, Expansion Joint terbagi menjadi 4 macam, terdiri dari (www.vibrantpower.com) :

2.6.1.1 Metal Expansion Joint

Metal Expansion Joint (juga disebut kompensator) yang mengimbangi elemen untuk ekspansi termal dan gerakan relatif di pipa, kontainer dan mesin. Kompensator terdiri dari satu atau lebih logam bellow, konektor di kedua ujungnya, dan batang dasi yang tergantung pada penggunaan. Kompensator dibedakan menurut tiga tipe dasar gerakan. Expansion Joint aksial, angular dan lateral. Dan juga dapat diproduksi dengan berbagai bahan seperti Stainless Steel, Nikel Alloy dan Titanium.



Gambar 2.14 Metal Expansion Joint

2.6.1.2 Rubber Expansion Joint

Rubber Expansion Joint (Elastomeric) dapat diproduksi dengan berbagai elastomer dan berbagai bahan lain tergantung pada rating tekanan. Elastomeric dapat memberikan berbagai macam gerakan pada satu atau beberapa jenis lengkung konstruksi.

Rubber Expansion Joint mengisolir kebisingan dan getaran dari berbagai jenis peralatan dan dapat berbasis PTFE untuk tambahan ketahanan kimia. Rubber Expansion Joint dapat memberikan gerakan terkontrol, sekaligus mengurangi kebisingan dan getaran. Rubber Expansion Joint memberikan perlindungan besar untuk sistem perpipaan dari kerusakan akibat getaran dan gerakan.



Gambar 2.15 Rubber Expansion Joint

2.6.1.3 Fabric Expansion Joint

Fabric Expansion Joint menawarkan fleksibilitas yang tinggi dalam menangani gerakan termal besar, pada ruang yang relatif singkat. Fabric Expansion Joint cukup baik untuk isolasi getaran dan juga membantu mengurangi transmisi kebisingan mekanik. Fabric Expansion Joint tersedia dalam berbagai bahan dan desain tanpa ada batasan ukuran. Expansion Joint dapat digabungkan dengan bahan logam yang sesuai (seperti angle, baffle dan bar untuk pertahanan) untuk kemudahan instalasi di tempat.

Fabric Expansion Joint biasanya dipecah menjadi tiga kelompok yang berbeda: Elastomeric, Komposit, dan Fluoropolymer.

- **Elastomeric**

Jenis Expansion Joint ini, dibangun dengan kain berkekuatan tinggi dan/atau kawat yang divulkanisir dengan berbagai elastomer, neoprene, dan silikon untuk beberapa nama. Total ketebalan sabuk dan jumlah untuk memperkuat lapisan dapat bervariasi, tergantung pada kondisi aplikasi dan desain.

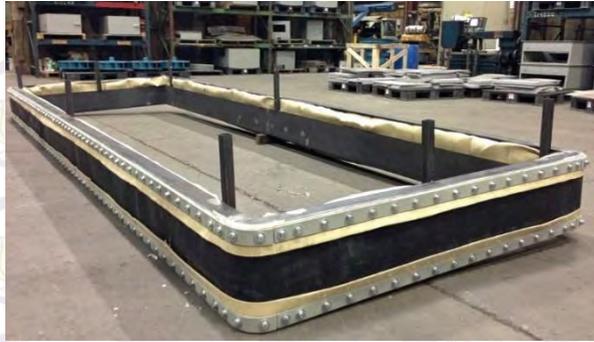
Expansion Joint Elastomeric cocok untuk layanan kimia basah dan untuk aplikasi di buang pabrik desulfurisasi gas. Expansion Joint ini tersedia dalam berbagai macam bentuk dan ukuran.



Gambar 2.16 Elastomer Expansion Joint

- **Composite**

Jenis Expansion Joint ini biasanya dirancang ketika suhu sistem terus beroperasi pada temperatur panas yang tinggi, Suhu yang tinggi secara otomatis memanggil jenis komposit dari elemen fleksibel harus digunakan untuk membran. Composite Expansion Joint terbuat dari berbagai lapisan yang terdiri dari Gas Seal Membrane, Lapisan Isolasi, Lapisan Pertahanan Isolasi dan Flange Gasket. Lapisan isolasi hanya diperlukan dimana suhu sistem melebihi suhu kisaran membran segel gas.



Gambar 2.17 Komposit Expansion Joint

✓ Lapisan Expansion Joint Composite

Lapisan Luar - Membran Gas Seal adalah penutup luar Expansion Joint dan dirancang untuk menangani tekanan sistem dan serangan kimia. Fleksibilitas dari penutup penting untuk menangani gerakan tetapi memiliki keterbatasan suhu.

Lapisan Isolasi memberikan penghalang termal untuk mengurangi suhu pada Gas Seal Membran. Lapisan ini dirancang untuk memastikan bahwa suhu Gas Seal Membrane tidak melebihi suhu maksimum.

Lapisan Penahan Isolasi adalah lapisan yang menahan lapisan isolasi di tempat.

Flange Gasket melindungi membran segel gas dari degradasi termal yang mungkin disebabkan oleh flange logam panas dan bar cadangan.

Fluoropolymer Bahan-bahan ini biasanya dirancang untuk digunakan ketika sistem basah dan suhu terus beroperasi sampai 600°F , dengan kunjungan intermiten untuk 655°F . Hal ini biasanya terkait dengan aplikasi korosif basah.

2.6.1.4 PTFE Expansion Joint

Dirancang untuk mengimbangi pertumbuhan termal atau getaran dalam sistem perpipaan yang mengalirkan bahan kimia yang korosif atau asam.

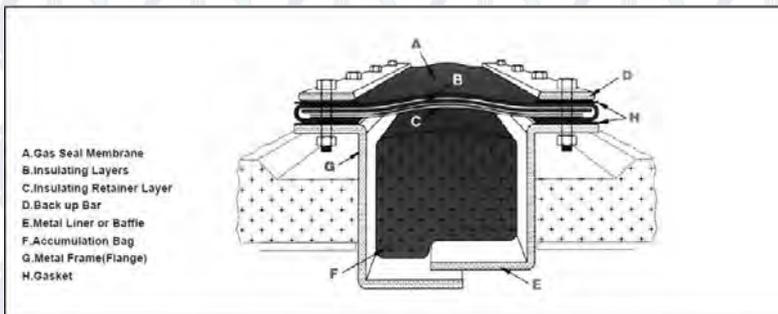
Expansion Joint PTFE juga menawarkan sistem pegas rendah yang mengakibatkan gaya reaksi rendah pada pipa, nozel, struktur dan peralatan yang berdekatan. Expansion Joint PTFE tahan terhadap serangan dari berbagai bahan kimia dan asam.

Sendi PTFE Ekspansi cocok untuk digunakan pada sistem perpipaan non-logam seperti FRP, kaca berjajar, PTFE bergaris, kynar, dll



Gambar 2.18 PTFE Expansion Joint

2.6.2 Lapisan Fabric Expansion Joint



- A. Gas Seal Membrane
- B. Insulating Layers
- C. Insulating Retainer Layer
- D. Back up Bar
- E. Metal Liner or Baffle
- F. Accumulation Bag
- G. Metal Frame (Flange)
- H. Gasket

Gambar 2.19 Anatomi Fabric Expansion Joint

(www.unaflex.com)

A. Gas Seal Membrane

Gas Seal Membrane dimaksudkan untuk menahan tekanan sistem dan tahan terhadap serangan kimia dari dalam dan luar. Segel gas juga harus memiliki fleksibilitas untuk menyerap gerakan termal. Mungkin memerlukan perlindungan termal tambahan, namun tergantung pada suhu sistem.

B. Insulating Layers

Insulating Layers memberikan penghalang termal untuk memastikan bahwa suhu permukaan bagian dalam membran segel gas tidak melebihi suhu maksimum. Lapisan isolasi juga dapat mengurangi kondensasi yang disebabkan oleh aliran gas datang yang melakukan kontak dengan permukaan "dingin" membran segel gas yang tidak terisolir.

C. Insulating Retainer Layer

Lapisan ini digunakan untuk menjaga lapisan isolasi di tempat untuk menjaga integritas termal. Lapisan penahan harus mampu menahan suhu aliran gas dan harus sesuai secara kimia dengan sistem media.

D. Back Up Bars

Back up bars, diposisikan pada lampiran flange, dan menggunakan tekanan penjepit untuk membuat segel kain-ke-saluran dan menahan kain ketika mengalami tekanan sistem. Ketebalan dan lebar bar cadangan harus cukup untuk menjalankan fungsi ini dengan jarak baut yang digunakan. Tepi bar cadangan harus memiliki radius untuk mencegah pemotongan kain.

E. Metal Liner Or Baffle

Sebuah liner dirancang untuk melindungi segel membran gas dan mengisolir lapisan elemen fleksibel dari partikel abrasif yang mungkin ada dalam aliran gas. Liner juga digunakan untuk mengurangi kibasan unsur kain yang disebabkan oleh turbulensi, untuk membantu mengontrol akumulasi debu atau abu dalam rongga Expansion Joint, dan untuk mengurangi suhu dari elemen yang fleksibel.

F. Accumulation Bag

Accumulation bag dimaksudkan untuk mencegah abu beterbangan dari membangun di rongga Expansion Joint. Hal ini biasanya digunakan bersama dengan liner, pada saluran yang berjalan dari boiler ke peralatan pembersih udara seperti precipitator, scrubber dan rumah tas, atau setiap kali debu atau abu yang ada dalam gas berjumlah tinggi. Sebuah penghalang abu beterbangan harus mampu mempertahankan kekuatan dan fleksibilitas ketika sedang terkena suhu maksimum sistem dan media.

G. Fabric Attachment Flanges

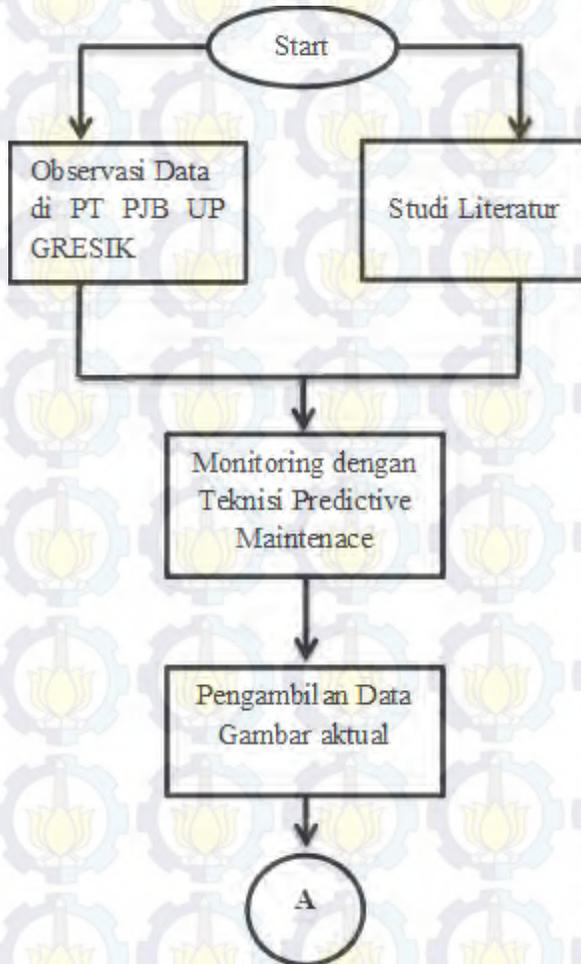
Fabric attachment flanges diperlukan untuk menghubungkan elemen fleksibel pada saluran kerja. Ketika dirancang dengan baik, mereka dapat digabungkan langsung ke saluran kerja sehingga tidak perlu untuk saluran flange yang berdampingan. Flange dapat dirancang dengan "bar landing" gabungan saluran yang memungkinkan beberapa misalignment instalasi tanpa mempengaruhi elemen fleksibel. Flange menetapkan ketinggian kain yang jauh, yang diperlukan untuk mencapai integritas termal pada semua kondisi gerakan. Tepi flensa yang bersentuhan dengan segel membran gas juga harus memiliki radius untuk mencegah kerusakan.

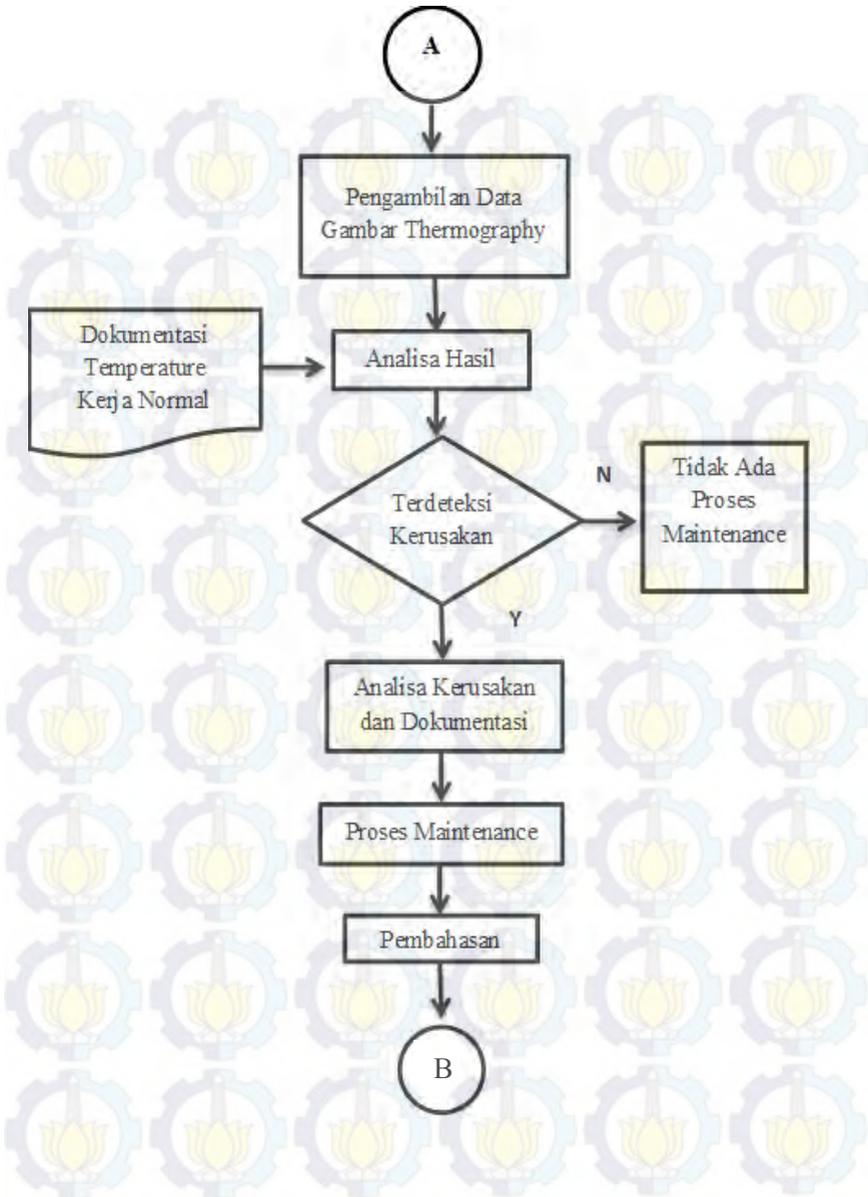
H. Gasket

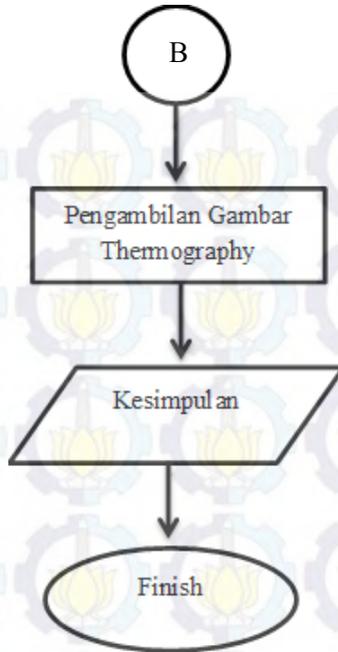
Satu lapisan sabuk fluoroplastic dan fluoroelastoplastic yang didesain seperti bahan ultra chemical yang dibutuhkan untuk kelembaman gasket fleksibel kimia.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Pengujian







Gambar 3.1 Flow Chart Metodologi Penelitian

3.2 Peralatan Ukur Thermography

Pada pengukuran Thermography ini, alat ukur yang digunakan adalah Infrared Camera FLIR T640



Gambar 3.2 Camera Flir T640

Dengan spesifikasi sebagai berikut :

➤ Imaging and optical data

- IR resolution : 640 x 480 pixels
- UltraMax : Yes
- Thermal sensitivity/NETD : <30 mK @ +30°C (+86°F)
- Field of view (FOV) : 25° x 19°
- Minimum focus distance : 0,25 m (0,82 ft.)
- Focal length (25 mm (0,97 in.))
- Spatial resolution (IFOV) : 0,68 mrad
- Lens identification : Automatic
- F-number : 1,0
- Image frequency : 30 hz
- Focus : Continuous, one shot or manual
- Digital zoom : 1 – 8x continuous
- Digital image enhancement : Adaptive digital noise reduction

➤ Detector data

- Detector type : Focal Plane Array (FPA), uncooled microbolometer
- Spectral range : 7,5 - 14 μm
- Detector pitch : 17 μm

➤ Image presentation

- Display : Built-in touchscreen, 4.3 in. widescreen LCD, 800×480 pixels
- Display type : Capacitive touchscreen
- Auto orientation : Automatic landscape or portrait
- Viewfinder : Built-in 800×480 pixels
- Automatic image adjustment : Continuous, histogram based
- Manual image adjustment : Linear based; Possible to adjust level/span/max/min

➤ Image presentation modes

- Infrared image : Full color IR image
- Visual image : Full color visual image

- Thermal MSX : Thermal image with enhanced detail presentation
- Picture in Picture : Resizable and movable IR area on visual image

➤ Measurement

- Object temperature range
 - -40°C to $+150^{\circ}\text{C}$ (-40°F to $+302^{\circ}\text{F}$)
 - $+100^{\circ}\text{C}$ to $+650^{\circ}\text{C}$ ($+212^{\circ}\text{F}$ to $+1202^{\circ}\text{F}$)
 - $+300^{\circ}\text{C}$ to $+2000^{\circ}\text{C}$ ($+572^{\circ}\text{F}$ to $+3632^{\circ}\text{F}$)
- Accuracy : $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ($\pm 3.6^{\circ}\text{F}$) or 2%, whichever is greater, at 25°C (77°F) nominal.

➤ Measurement analysis

- Spotmeter : 10
- Area : 5 areas (boxes or circles) with max./min./average
- Profile : 1 line profile with max/min temp
- Automatic hot/cold detection : Auto hot or cold spot meter markers within area and profile
- Measurement presets : No measurements, Center spot, Hot spot, Cold spot, User preset 1, User preset 2
- Userpresets : The user can select and combine measurements from any number of spots/boxes/circles/profiles/delta
- Difference temperature : Delta temperature between measurement functions or reference temperature
- Reference temperature : Manually set using difference temperature
- Atmospheric transmission correction : Automatic, based on inputs for distance, atmospheric temperature and relative humidity
- Optics transmission correction : Automatic, based on signals from internal sensors
- Emissivity correction : Variable from 0.01 to 1.0 or selected from materials list

- Emissivity table : Emissivity table of predefined materials
- Reflected apparent temperature correction : Automatic, based on input of reflected temperature
- External optics/windows correction : Automatic, based on inputs of window transmission and temperature
- Measurement corrections : Emissivity, reflected temperature, relative humidity, atmospheric temperature, object distance, external IR window compensation
- Colors(palettes) : Iron, Rainbow, Rainbow HC, Whitehot, Blackhot, Arctic, Lava
- Alarm
 - Color Alarm (isotherm) : Above/below/interval
 - Measurement function alarm : Audible/visual alarms (above/below) on any selected measurement function
 - Screening : Difference temperature alarm, audible
- Set-up
 - Set-up commands : Define user presets, Save options, Programmable button, Resetoptions, Set up camera, Wi-Fi, GPS & compass, Bluetooth, Language, Time & units, Camera information
- Service functions
 - Camera software update : Use PC software FLIR Tools
- Storage of images
 - Image storage : Standard JPEG, including digital photo and measurement data, on memory card
 - Storage media : Removable memory SD card
 - Image storage mode :
 - Simultaneous storage of thermal and digital photo in same JPEG file.

- Optional to store digital photo as a separate JPEG file.
- Time lapse : 15 seconds to 24 hours
- File formats : Standard JPEG, measurement data included
- Fileformats, visual : Standard JPEG, automatically associated with corresponding thermal image
- Image annotations (in still images)
 - Voice : 60 seconds (via Bluetooth) stored with the image
 - Text : Add table. Select between predefined templates or create your own in FLIR Tools
 - Image description : Add short note (stored in JPEG exif tag)
 - Sketch : Draw on thermal/digital photo or add predefined stamps
 - METERLiNK : Wireless connection (Bluetooth) to: FLIR meters with METERLiNK
 - Report generation
 - Instant Report (*.pdffile) in camera
 - Separate PC software with extensive report generation
- Geographic Information System
 - GPS : Location data automatically added to every still image from built-in GPS
 - Compass : Camera direction automatically added to every still image
- Video recording in camera
 - Non-radiometric IR-video recording : MPEG-4 to memory card
 - Visual video recording : MPEG-4 to memory card
- Video streaming

- Radiometric IR-video streaming : Full dynamic to PC using USB or to mobile devices using Wi-Fi.
- Non-radiometric IR-videostreaming :
 - MPEG-4 using Wi-Fi
 - Uncompressed colorized video using USB
- Visual video streaming :
 - MPEG-4 using Wi-Fi
 - Uncompressed colorized video using USB
- Digital camera
 - Built-in digital camera : 5 Mpixel with LED light (photo as separate image)
 - Digital camera, FOV : Adapts to the IR lens
 - Video lamp : Built-in LED light
- Laser pointer
 - Laser : Activated by dedicated button
 - Laser alignment : Position is automatic displayed on the IR image
 - Laser classification : Class 2
 - Laser type : Semi conductor AlGaInP diode laser, 1 mW, 635 nm (red)
- Data communication interfaces
 - Interfaces : USB-mini, USB-A, Bluetooth, Wi-Fi, Digital Video Output
 - METERLiNK/Bluetooth : Communication with headset and external sensors
 - Wi-Fi : Peer to peer (adhoc) or infrastructure (network)
 - SD Card : One card slot for removable SD memory cards
- USB
 - USB
 - USB-A : Connect external USB device
 - USB Mini-B : Data transfer to and from PC/ Uncompressed colorized video
 - USB, standard : USB 2.0 High Speed

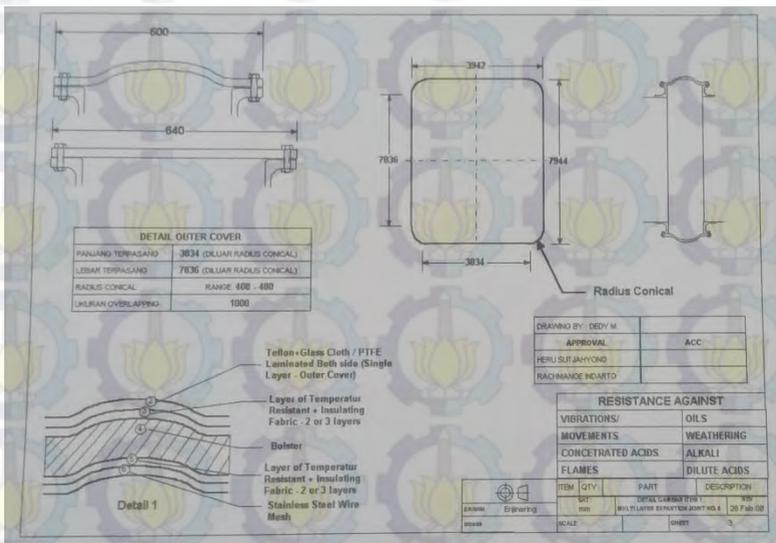
- Video output
 - Video out : Digital Video Output (DVI)
 - Video ,connector type : HDMI compatible
- Radio
 - Wi-Fi
 - Standard : 802.11 b/g
 - Frequency range : 2412–2462 MHz
 - Max. output power : 15 dBm
 - METERLiNK/Bluetooth : Frequency range : 2402–2480 MHz
 - Antenna : Internal
- Power system
 - Battery type : Rechargeable Li Ion battery
 - Battery operating time : > 2.5 hours at 25°C (+68°F) and typical use
 - Charging system : In camera (AC adapter or 12V from a vehicle) or 2-bay charger
 - Charging time : 2.5 h to 90% capacity, charging status indicated by LED's
 - Charging temperature : 0°C to +45°C (+32°F to +113°F)
 - External power operation : AC adapter 90–260 VAC, 50/60 Hz or 12 V from a vehicle (cable with standard plug, optional)
- Environmental data
 - Operating temperature range : –15°C to +50°C (+5°F to +122°F)
 - Storage temperature range –40°C to +70°C (–40°F to +158°F)
 - Humidity (operating and storage) : IEC 60068-2-30/24 h 95% relative humidity +25° C to +40°C (+77°F to +104°F) /2cycles
 - EMC
 - ETSI EN 301 489-1 (radio)
 - ETSI EN 301 489-17
 - EN 61000-6-2 (Immunity)

- EN 61000-6-3 (Emission)
- FCC 47 CFR Part 15 Class B (Emission)
- ICES-003
- Radio spectrum
 - ETSI EN 300 328
 - FCC Part 15.247
 - RSS-210
- Encapsulation : IP 54 (IEC 60529)
- Shock : 25 g (IEC 60068-2-27)
- Vibration : 2g (IEC 60068-2-6)
- Safety : EN/UL/CSA/PSE 60950-1
- Physical data
 - Weight : 1.3 kg (2.87 lb.)
 - Camera size, excl. lens (L×W×H) : 143 × 195 × 95 mm (5.6×7.7×3.7 in.)
 - Tripod mounting : UNC ¼"-20
 - Housing material : Magnesium
- Shipping information
 - Packaging,type : Cardboard box
 - List of contents :
 - Infrared camera with lens
 - Battery (2 ea.)
 - Battery charger
 - Bluetooth headset
 - Calibration certificate
 - FLIR Tools download card
 - User documentation CD-ROM
 - Printed documentation
 - HDMI-DVI cable
 - HDMI-HDMI cable
 - Hard transport case
 - Large eye cap
 - Lens cap
 - Memory card
 - Neck strap
 - Power supply, incl. multi-plugs

- Tripod adapter
- USB cable, Std A to Mini-B
- Packaging, weight : 6.6 kg (14.6 lb.)
- Packaging, size : 495 × 192 × 370 mm (19.49 × 7.56 × 14.57 in.)
- EAN-13 : 7332558006993
- UPC-12 : 845188007348
- Country of origin : Sweden

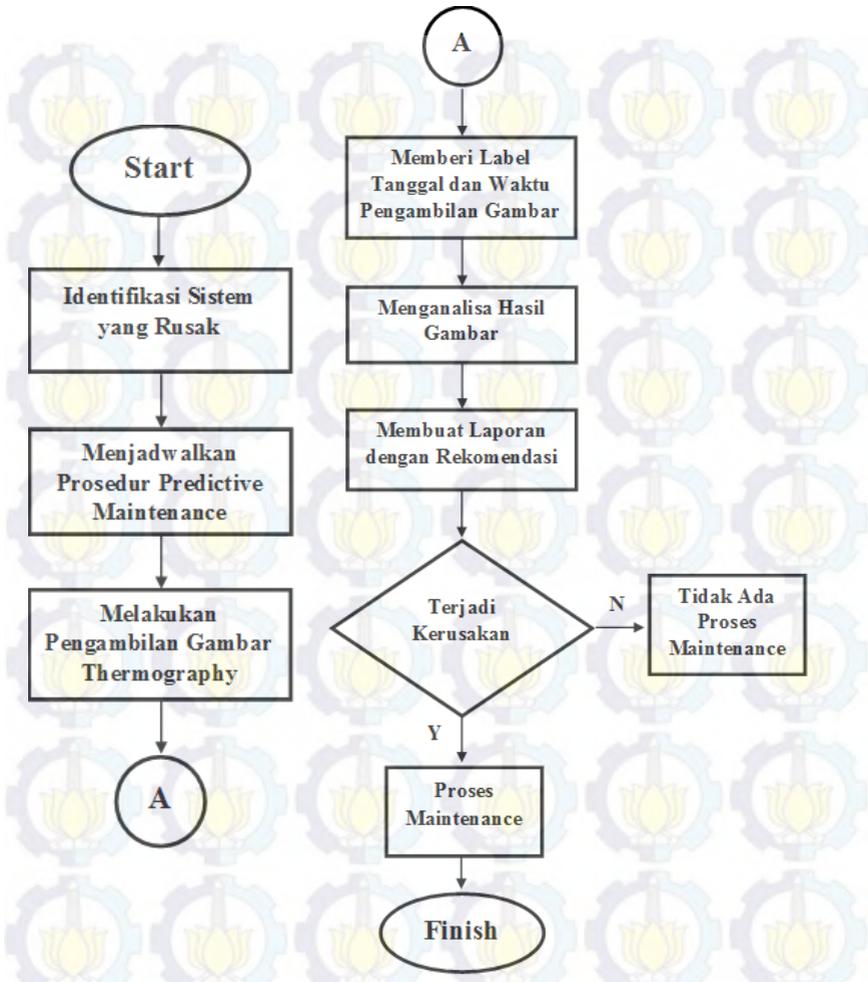
3.3 Obyek Pengukuran Termografi

Obyek pengukuran termografi berdasarkan data yang diambil dari PT. PJB UP GRESIK adalah Expansion joint nomor 5 pada HRSG unit 3.1 menggunakan merk EagleBurgmann dengan spesifikasi sebagai berikut :



Gambar 3.3 Spesifikasi Fabric Expansion Joint

3.4 Skematik Prosedur Pengukuran Termografi



Gambar 3.4 Flow Chart Prosedur Pengukuran Thermography

3.5 Data Hasil Pengukuran Thermography

Adapun data hasil pengukuran thermography yang dilakukan menunjukkan adanya kebocoran gas buang dari turbin yang mencapai suhu 196.2°C dimana melebihi batas normalnya yaitu 67.7°C , sehingga perlu dilakukan penganalisaan lebih lanjut.

BAB 4

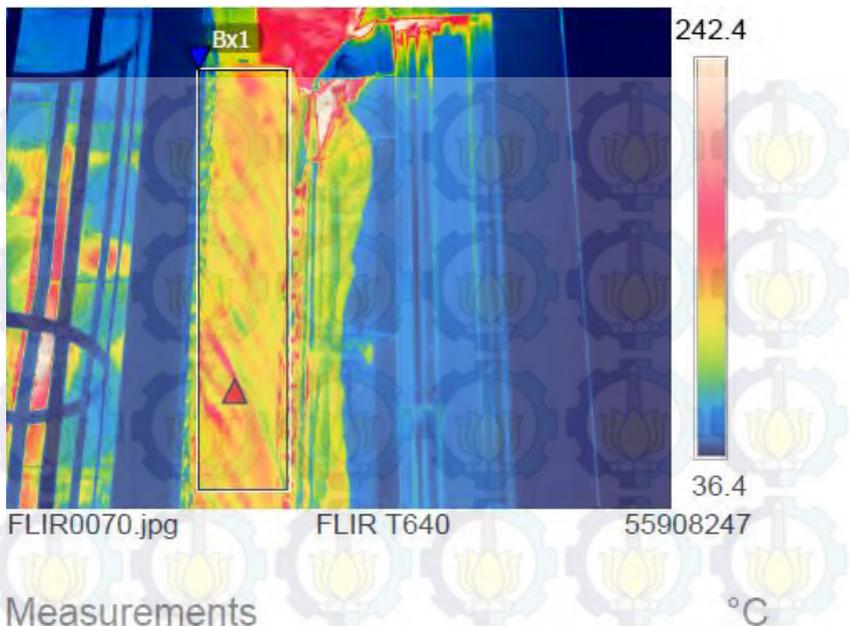
ANALISA DATA

4.1 Hasil Thermography

Pengambilan gambar thermography digunakan untuk memonitoring kondisi suatu mesin atau peralatan guna mengetahui apakah keadaan mesin itu masih layak untuk digunakan atau mesin itu harus diperbaiki ataupun diganti. Berikut adalah hasil predictive maintenance dengan mengambil gambar actual dan thermography dari Expansion Joint No. 5 HRSG unit 3.1 di PT. PJB UP GRESIK.



Gambar 4.1 Gambar actual Expansion nomer 5 HRSG unit 3.1

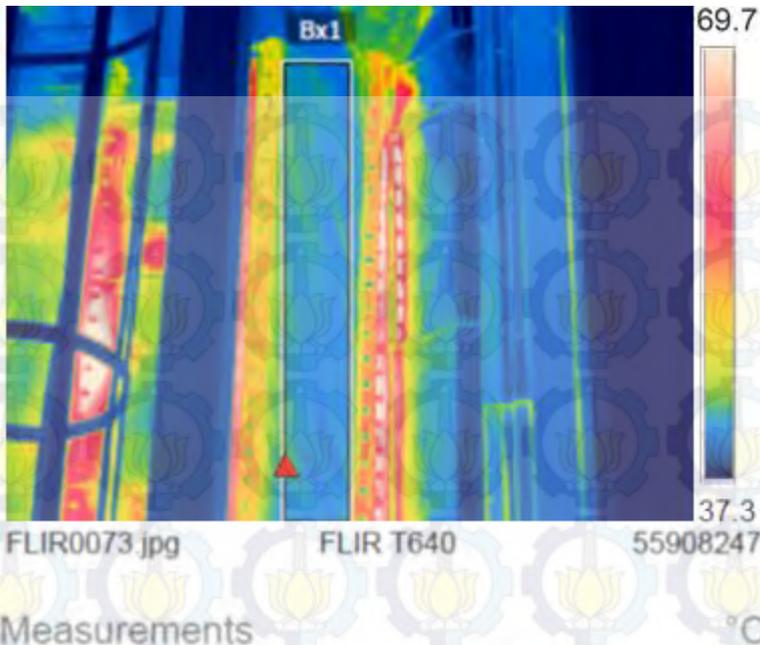


Gambar 4.2 Infrared Expansion Joint nomor 5 HRSG unit 3.1

Gambar diatas merupakan gambar infrared yang diambil melalui camera FLIR T640, dengan keterangan sebagai berikut :

✓ Keterangan gambar 4.2 :

- Image date : 1 Desember 2015
- Emmissivity : 0,95
- Maximal Temperature Object : 242.4°C
- Spot AnalysisTemperature : 196.2°C



Bx1 Max 67.7

Gambar 4.3 Infrared Expansion Joint nomor 5 HRSG unit 3.1 pada kondisi normal (referensi PdM PT. PJB)

✓ Keterangan gambar 4.3 :

- Image date : 1 Desember 2015
- Emmisivity : 0,95
- Maximal Temperature Object : 69.7°C
- Spot AnalysisTemperature : 67.7°C

Dari kedua gambar diatas didapatkan differential temperature : 128.5°C (196.2°C – 67.7°C)

4.2 Standard of Thermography Inspection

Dengan mengetahui kondisi yang terjadi di peralatan tersebut kita bias menganalisa kerusakan yang terjadi dan faktor apa yang menyebabkan terjadinya kerusakan pada material tersebut.

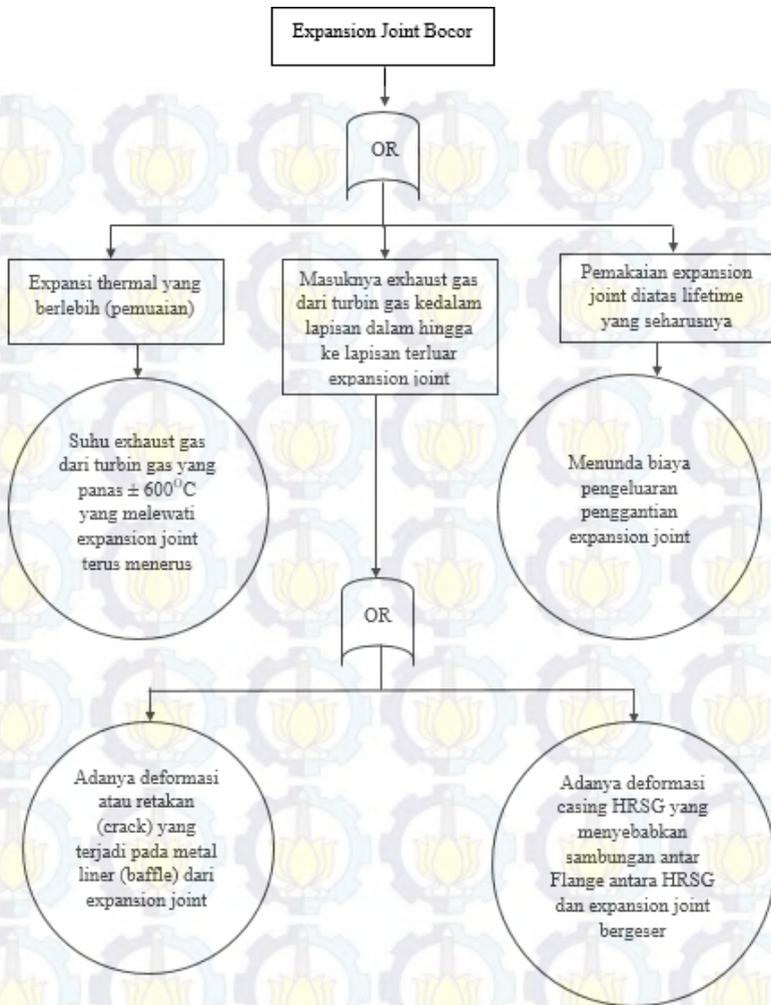
Setelah dilakukan pengambilan gambar, maka akan terlihat temperature dari permukaan peralatan yang dianalisa, kemudian dibandingkan dengan tabel tindakan thermography standard EPRI (Electric Power Research Institute). Setelah itu barulah kita membuat sebuah Fault Tree Analysis (FTA) dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) agar dapat diketahui penyebab terjadinya kerusakan pada Expansion Joint serta efek yang terjadi akibat kerusakan Expansion Joint, dan mampu menentukan tindakan yang tepat dalam pencegahan terjadinya kerusakan tersebut.

Tabel 4.1 Standart Tabel Tindakan dari Thermography

Standard of Thermography Inspection					
Differential Temp	< 5°C	5°C - 10°C	11°C - 20°C	21°C - 40°C	>40°C
Max Temp					
< 75°C	Normal	Low	Medium	High	Critical
75°C - 100°C	Information of overloading	Medium	High	Critical	Critical
>100°C	Information of high overloading	Critical	Critical	Critical	Critical

Kerusakan yang terjadi pada Expansion Joint akan dianalisa penyebabnya dan efeknya menggunakan metode Fault Tree Analysis (FTA) dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Berikut adalah penyebab kerusakan Expansion Joint menggunakan Fault Tree Analysis (FTA) :



Gambar 4.4 Diagram Fault Tree Analysis penyebab kerusakan Expansion Joint

Table 4.2 Tabel Failure Mode and Effect Analysis

FMEA kebocoran Expansion Joint No. 5 HRSG unit 3.1

Unit

: PLTGU - GAS TURBINE PLANT

System

: HRSG (Heat Recovery Steam Generator)

Equipment Name

: EXPANSION JOINT NO. 5

Analys

: Hendra Eka

No	System	Sub System	Failure Mode	Failure Effect	Failure Cause	Tindakan Saat Ini	Failure Defense Task/ Recommendation
1	HRSG 3.1	Expansion Joint no.5 from bypass stack to HRSG 3.1	Kerusakan Expansion Joint / Kebocoran Gas	Membahayakan pekerja Menjalanya kerusakan ke sistem lain di sekitar expansion joint (pipa gas, panel damper, dll) akibat gas yang bocor bersuhu tinggi Menurunnya Efisiensi sistem HRSG dalam proses Generating Steam	Ekspansi thermal yang berlebih (pemuatan) Masuknya exhaust gas dari turbin gas ke dalam lapisan dalam hingga ke lapisan terluar expansion joint Pemakaian expansion joint diatas lifetime yang seharusnya	1. Predictive maintenance berkala 2. Penggantian Expansion joint	Cek kebocoran gas menggunakan metode termografi

4.3 Analisa Penyebab Kebocoran Gas

Dengan meninjau data gambar thermography dan setelah mengidentifikasi kerusakan menggunakan Fault Tree Analysis dan Failure Mode and Effect Analysis maka dapat dijelaskan penyebab kebocoran Expansion Joint adalah sebagai berikut :

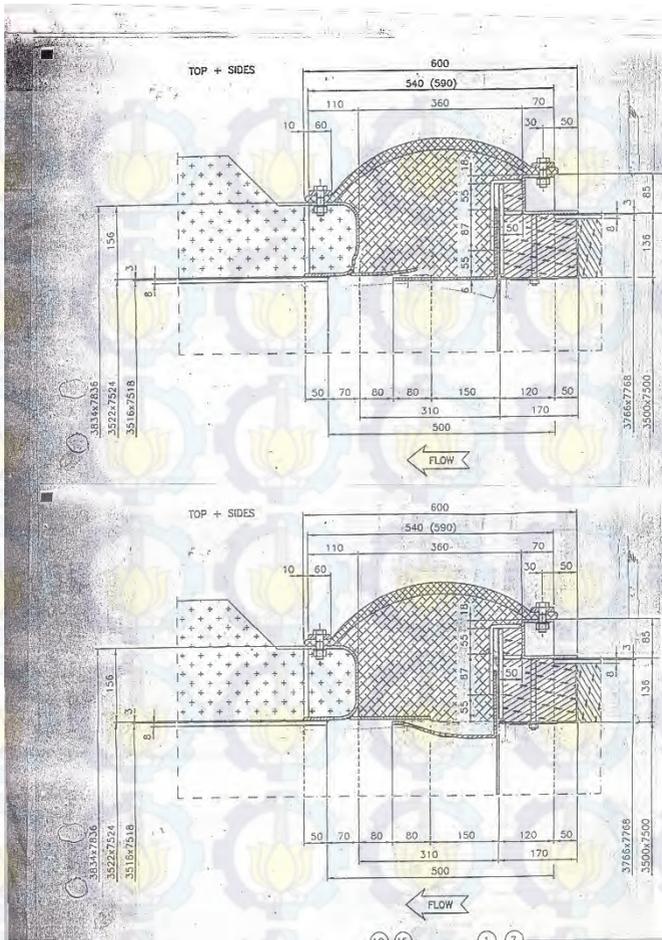
1. Ekspansi thermal yang berlebihan (pemuaiian)

Ekspansi thermal terjadi akibat adanya panas yang berlebihan yang terjadi secara terus menerus dari exhaust gas yang bersuhu tinggi yang keluar dari turbin gas sehingga menyebabkan pemuaiian antar flange.

2. Masuknya exhaust gas dari turbin gas kedalam lapisan dalam hingga lapisan terluar expansion joint

Exhaust gas yang keluar dari turbin gas seharusnya hanya melewati saluran exhaust yang menuju HRSG tanpa masuk kedalam lapisan expansion joint. Masuknya exhaust gas kedalam lapisan expansion joint diakibatkan oleh beberapa factor, yaitu :

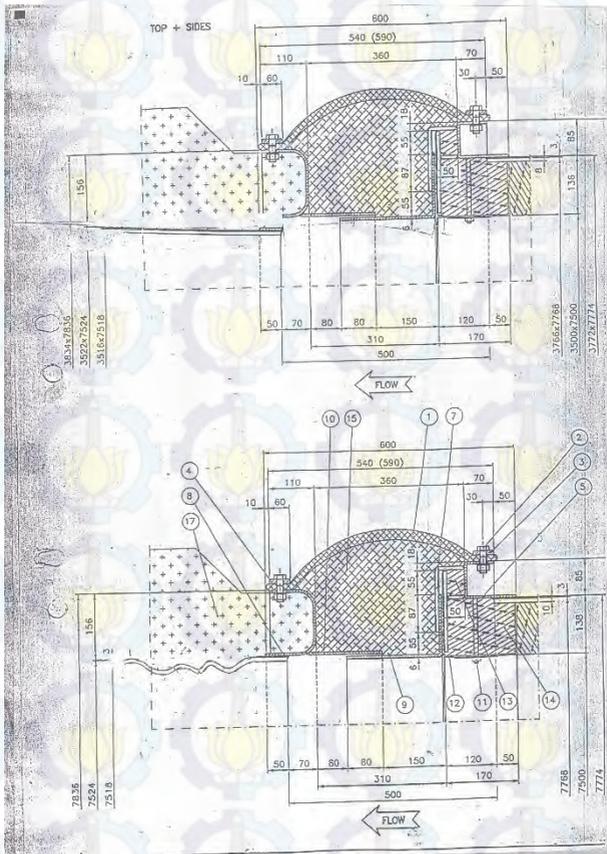
- Adanya deformasi atau retakan (crack) yang terjadi pada metal liner (baffle) dari expansion joint yang berada pada lapisan terbawah expansion joint sehingga panas exhaust gas tertimbun pada lapisan bolster expansion joint yang berisi glass wool yang lama kelamaan akan merusak lapisan bolster yang kemudian akan menembus lapisan terluar yang berbahan teflon, dimana lapisan teflon hanya mampu menahan panas $180^{\circ}\text{C} - 260^{\circ}\text{C}$ sedangkan suhu exhaust gas dari gas turbin mencapai 600°C , sehingga lapisan teflon tersebut akhirnya akan sobek dan exhaust gas akan bocor keluar expansion joint



Gambar 4.5 Deformasi atau retakan (crack) pada metal liner (baffle) expansion joint

- Adanya deformasi casing HRSG yang menyebabkan sambungan antar flange antara HRSG dan expansion joint bergeser. Flange HRSG yang bertindak sebagai tumpuan flange expansion joint akan kehilangan daya tumpunya yang menyebabkan miringnya atau anjloknya

expansion joint yang berakibat pada tidak simetrisnya pemasangan expansion joint sehingga gas akan bocor keluar.



Gambar 4.6 Deformasi casing HRSG

3. Pemakaian expansion joint diatas lifetime yang seharusnya

Penggantian yang dilakukan pada expansion joint dilakukan apabila terjadi robek yang terlihat dengan metode inspeksi visual, hal ini dilakukan untuk memperpanjang jangka waktu pemakaian expansion joint

selama belum terlihat robekan pada lapisan terluar expansion joint, ini dilakukan untuk menunda biaya pengeluaran penggantian expansion joint. Seharusnya apabila terdeteksi suhu yang semakin panas pada expansion joint, sebelum terjadi adanya robekan pada lapisan terluar, expansion joint harus segera diganti. Kebocoran terakhir terjadi pada tanggal 1 Desember 2015 sedangkan kebocoran sebelumnya terjadi pada tanggal 5 Januari 2013 (\pm 23 bulan) Sehingga pemakaian expansion joint mencapai melebihi lifetime yang seharusnya yaitu 12 – 18 bulan ([www. migas-indonesia.com](http://www.migas-indonesia.com))

4.4 Analisa Efek dari Kebocoran Expansion Joint

Dengan meninjau data Failure Mode and Effect Analysis, maka dapat dijelaskan efek dari Kebocoran Expansion Joint adalah sebagai berikut :

1. Membahayakan pekerja

Suhu gas yang mencapai \pm 200^oC yang bocor dari expansion joint beresiko kecelakaan kerja pada para pekerja yang menyangkut tentang kelalaian di bidang HSE (Health and Safety Environment)

2. Menjalarnya kerusakan ke sistem lain di sekitar expansion joint (pipa gas, panel damper, dll) akibat gas yang bocor bersuhu tinggi

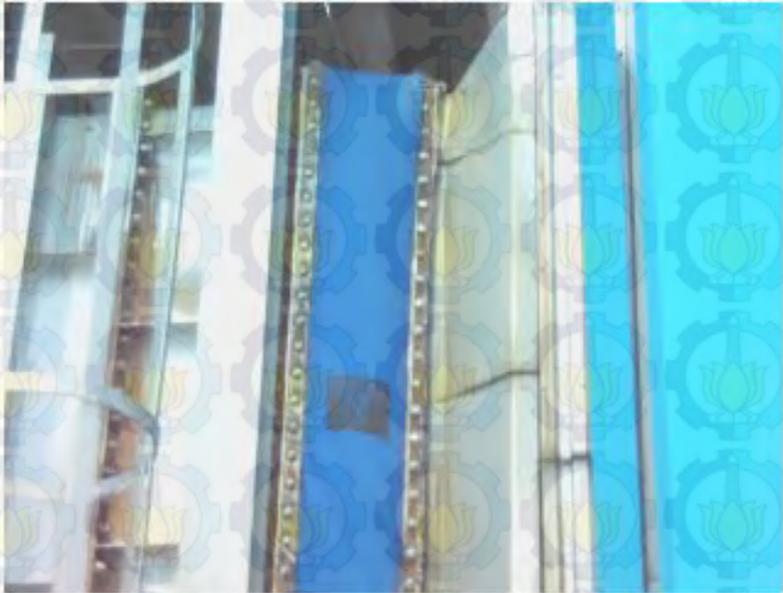
Bocornya gas dari expansion joint yang mencapai \pm 200^oC mengakibatkan gagalnya sistem lain disekitar expansion joint yang tidak mampu menahan suhu tersebut, ini berakibat pada resiko kerusakan yang lebih besar.

3. Menurunnya Efisiensi sistem HRSG dalam proses Generating Steam

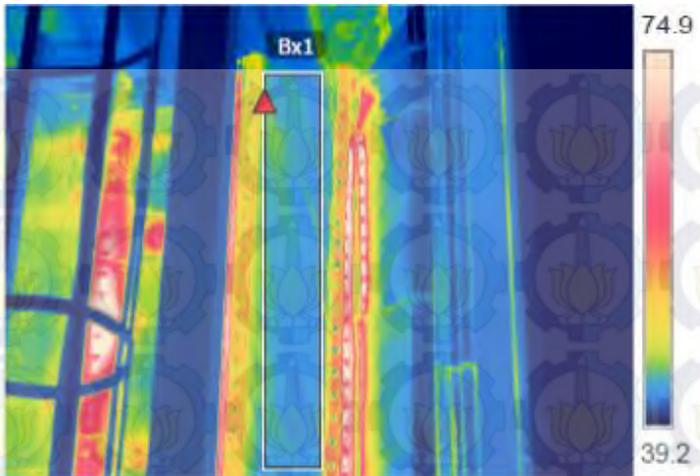
Menurunnya efisiensi HRSG akibat berkurangnya volume exhaust gas dari turbin gas ke HRSG yang diperlukan untuk proses penguapan air dan menurunnya suhu exhaust gas yang masuk ke HRSG (Sistem PLTGU masih dapat bekerja namun kurang maksimal)

4.5 Pengujian Ulang dan Hasil Setelah Maintenance

Setelah dilakukan corrective maintenance dengan penggantian Expansion joint maka akan dilakukan kembali inspeksi thermography guna melihat bagaimana keadaan temperature yang ada pada Expansion joint untuk memastikan bahwa esudah tidak ada lagi kebocoran pada Expansion joint baru yang sudah dipasang. Berikut adalah gambar actual dan foto thermography yang diambil setelah dilakukan penggantian expansion joint :



Gambar 4.7 Gambar actual Expansion nomer 5 HRSG unit 3.1 setelah dilakukan penggantian

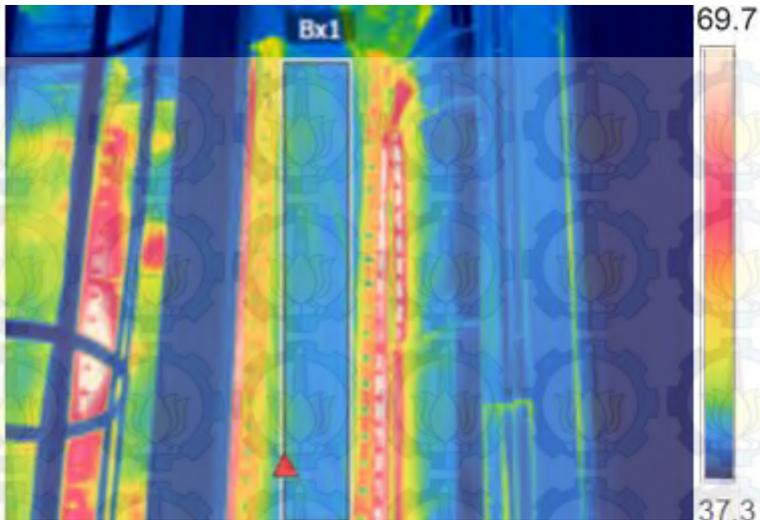


FLIR1066.jpg	FLIR T640	55908247	
Measurements			°C
Bx1	Max	72.5	

Gambar 4.8 Infrared Expansion Joint nomor 5 HRSG unit 3.1 setelah dilakukan penggantian

✓ Keterangan gambar 4.8 :

- Image date : 11 Desember 2015
- Emmissivity : 0,95
- Maximal Temperature Object : 74.9°C
- Spot AnalysisTemperature : 72.5°C



FLIR0073.jpg

FLIR T640

55908247

Measurements

Bx1

Max

67.7

°C

Gambar 4.9 Infrared Expansion Joint nomor 5 HRSG unit 3.1 pada kondisi normal (referensi PdM PT. PJB)

✓ Keterangan gambar 4.9 :

- Image date : 1 Desember 2015
- Emmisivity : 0,95
- Maximal Temperature Object : 69.7°C
- Spot AnalysisTemperature : 67.7°C

Pada **Gambar 4.9** Expansion Joint sudah berada pada kondisi yang baik, hal ini dapat dilihat dari menurunnya temperatur yang dianalisa. Temperatur sebelumnya pada saat sebelum dilakukan penggantian yaitu 196.2°C, setelah dilakukan penggantian unit expansion joint yang baru temperatur nya turun menjadi 72.5°C, serta differential temperatur sebelum penggantian menunjukkan

suhu critical yaitu 128.5°C turun menjadi suhu normal yaitu 4.8°C yang didapat dengan cara perbandingan data Thermography menurut Standart Tabel Tindakan Thermography referensi dari EPRI.

4.6 Pembahasan Maintenance

Meninjau dari **Gambar 4.1** Tindakan untuk kerusakan expansion joint no. 5 HRSG unit 3.1 yang mengalami kebocoran, setelah melakukan analisa data predictive maintenance dengan metode thermography, serta membandingkan dengan data berupa foto yang didapat dari Rencal HAR PT. PJB UP GRESIK, terjadinya kebocoran gas pada expansion joint diakibatkan oleh adanya ekspansi thermal yang berlebih (pemuaiian), Masuknya exhaust gas dari turbin gas kedalam lapisan dalam hingga ke lapisan terluar expansion joint dan pemakaian yang melebihi lifetime expansion joint. Setelah melakukan diskusi dengan operator lapangan, maka dilakukan penggantian unit baru pada expansion joint yang mengalami kebocoran gas.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil analisa dan penelitian yang telah dilakukan dan dibandingkan dengan kondisi sebenarnya yang ada di lapangan, maka dapat disimpulkan :

- Kebocoran gas pada Expansion Joint no. 5 HRSG unit 3.1 di PLTGU – PT. PJB UP GRESIK, diakibatkan oleh adanya ekspansi thermal yang berlebih (pemuaian), masuknya exhaust gas dari turbin gas kedalam lapisan dalam hingga ke lapisan terluar expansion joint dan pemakaian expansion joint diatas lifetime yang seharusnya.
- Perawatan yang dilakukan yaitu berupa penggantian expansion joint dengan unit baru.

5.2 Saran

- Perawatan preventif diperbanyak dan diperketat lagi agar dapat menanggulangi kebocoran yang lebih parah atau disarankan segera dilakukan penggantian sesuai lifetime sebelum terjadi kebocoran gas pada Expansion joint no. 5 HRSG unit 3.1 di PLTGU PT. PJB UP GRESIK
- Melakukan briefing ke operator – operator yang menjaga atau mengawasi tiap – tiap expansion joint supaya mematuhi SOP (Standard Operating Procedure) yang telah ditentukan dari pihak PT. PJB UP GRESIK.
- Dibuatnya data maintenance record yang lebih lengkap pada peralatan yang mengalami kerusakan dan dilakukan perbaikan.

Lampiran Emisivitas Benda

	Material	°F	°C	Emissivity
Metals				
Alloys	20-Ni, 24-CR, 55-FE, Oxidized	392	200	0.9
	20-Ni, 24-CR, 55-FE, Oxidized	932	500	0.97
	60-Ni, 12-CR, 28-FE, Oxidized	518	270	0.89
	60-Ni, 12-CR, 28-FE, Oxidized	1040	560	0.82
	80-Ni, 20-CR, Oxidized	212	100	0.87
	80-Ni, 20-CR, Oxidized	1112	600	0.87
	80-Ni, 20-CR, Oxidized	2372	1300	0.89
Aluminum	Unoxidized	77	25	0.02
	Unoxidized	212	100	0.03
	Unoxidized	932	500	0.06
	Oxidized	390	199	0.11
	Oxidized	1110	599	0.19
	Oxidized at 599°C (1110°F)	390	199	0.11
	Oxidized at 599°C (1110°F)	1110	599	0.19
	Heavily Oxidized	200	93	0.2
	Heavily Oxidized	940	504	0.31
	Highly Polished	212	100	0.09
	Roughly Polished	212	100	0.18
	Commercial Sheet	212	100	0.09
	Highly Polished Plate	440	227	0.04
	Highly Polished Plate	1070	577	0.06
	Bright Rolled Plate	338	170	0.04

	Material	°F	°C	Emissivity
	Bright Rolled Plate	932	500	0.05
	Alloy A3003, Oxidized	600	316	0.4
	Alloy A3003, Oxidized	900	482	0.4
	Alloy 1100-0	200–800	93–427	0.05
	Alloy 24ST	75	24	0.09
	Alloy 24ST, Polished	75	24	0.09
	Alloy 75ST	75	24	0.11
	Alloy 75ST, Polished	75	24	0.08
Bismuth	Bright	176	80	0.34
	Unoxidized	77	25	0.05
	Unoxidized	212	100	0.06
Brass	73% Cu, 27% Zn, Polished	476	247	0.03
	73% Cu, 27% Zn, Polished	674	357	0.03
	62% Cu, 37% Zn, Polished	494	257	0.03
	62% Cu, 37% Zn, Polished	710	377	0.04
	83% Cu, 17% Zn, Polished	530	277	0.03
	Matte	68	20	0.07
	Burnished to Brown Color	68	20	0.4
	Cu-Zn, Brass Oxidized	392	200	0.61
	Cu-Zn, Brass Oxidized	752	400	0.6
	Cu-Zn, Brass Oxidized	1112	600	0.61
	Unoxidized	77	25	0.04
	Unoxidized	212	100	0.04
Cadmium		77	25	0.02
Carbon	Lampblack	77	25	0.95
	Unoxidized	77	25	0.81
	Unoxidized	212	100	0.81
	Unoxidized	932	500	0.79
	Candle Soot	250	121	0.95
	Filament	500	260	0.95
	Graphitized	212	100	0.76
	Graphitized	572	300	0.75
	Graphitized	932	500	0.71
Chromium		100	38	0.08
Chromium		1000	538	0.26
Chromium, Polished		302	150	0.06
Cobalt, Unoxidized		932	500	0.13
Cobalt, Unoxidized		1832	1000	0.23
Columbium, Unoxidized		1500	816	0.19
Columbium, Unoxidized		2000	1093	0.24
Copper	Cuprous Oxide	100	38	0.87
	Cuprous Oxide	500	260	0.83
	Cuprous Oxide	1000	538	0.77
	Black, Oxidized	100	38	0.78

	Material	°F	°C	Emissivity
	Etched	100	38	0.09
	Matte	100	38	0.22
	Roughly Polished	100	38	0.07
	Polished	100	38	0.03
	Highly Polished	100	38	0.02
	Rolled	100	38	0.64
	Rough	100	38	0.74
	Molten	1000	538	0.15
	Molten	1970	1077	0.16
	Molten	2230	1221	0.13
	Nickel Plated	100-500	38-260	0.37
Dow Metal		0.4-600	D18-316	0.15
Gold	Enamel	212	100	0.37
	Plate		0.0001	
	Plate on .0005 Silver	200-750	93-399	.11-.14
	Plate on .0005 Nickel	200-750	93-399	.07-.09
	Polished	100-500	38-260	0.02
	Polished	1000-2000	538-1093	0.03
Haynes Alloy C,	Oxidized	600-2000	316-1093	.90-.96
Haynes Alloy 25,	Oxidized	600-2000	316-1093	.86-.89
Haynes Alloy X,	Oxidized	600-2000	316-1093	.85-.88
Inconel Sheet	1000 (538)	1000	538	0.28
Inconel Sheet	1200 (649)	1200	649	0.42
Inconel Sheet	1400 (760)	1400	760	0.58
Inconel X, Polished	75 (24)	75	24	0.19
Inconel B, Polished	75 (24)	75	24	0.21
Iron	Oxidized	212	100	0.74
	Oxidized	930	499	0.84
	Oxidized	2190	1199	0.89
	Unoxidized	212	100	0.05
	Red Rust	77	25	0.7
	Rusted	77	25	0.65
	Liquid	2760-3220	1516-1771	.42-.45
Cast Iron	Oxidized	390	199	0.64
	Oxidized	1110	599	0.78
	Unoxidized	212	100	0.21
	Strong Oxidation	40	104	0.95
	Strong Oxidation	482	250	0.95
	Liquid	2795	1535	0.29
Wrought Iron	Dull	77	25	0.94
	Dull	660	349	0.94
	Smooth	100	38	0.35
	Polished	100	38	0.28
Lead	Polished	100-500	38-260	.06-.08
	Rough	100	38	0.43

	Material	°F	°C	Emissivity
	Oxidized	100	38	0.43
	Oxidized at 1100°F	100	38	0.63
	Gray Oxidized	100	38	0.28
Magnesium		100-500	38-260	.07-.13
Magnesium Oxide		1880-3140	1027-1727	.16-.20
Mercury		32	0	0.09
		77	25	0.1
		100	38	0.1
		212	100	0.12
Molybdenum		100	38	0.06
		500	260	0.08
		1000	538	0.11
		2000	1093	0.18
	Oxidized at 1000°F	600	316	0.8
	Oxidized at 1000°F	700	371	0.84
	Oxidized at 1000°F	800	427	0.84
	Oxidized at 1000°F	900	482	0.83
	Oxidized at 1000°F	1000	538	0.82
Monel, Ni-Cu		392	200	0.41
Monel, Ni-Cu		752	400	0.44
Monel, Ni-Cu		1112	600	0.46
Monel, Ni-Cu		68	20	0.43
	Oxidized			
Monel, Ni-Cu	1110 (599)	1110	599	0.46
	Oxidized at 1110°F			
Nickel	Polished	100	38	0.05
	Oxidized	100-500	38-260	.31-.46
	Unoxidized	77	25	0.05
	Unoxidized	212	100	0.06
	Unoxidized	932	500	0.12
	Unoxidized	1832	1000	0.19
	Electrolytic	100	38	0.04
	Electrolytic	500	260	0.06
	Electrolytic	1000	538	0.1
	Electrolytic	2000	1093	0.16
Nickel Oxide		1000-2000	538-1093	.59-.86
Palladium Plate	(.00005 on .0005 silver)	200-750	93-399	.16-.17
Platinum		100	38	0.05
		500	260	0.5
		1000	538	0.1
Platinum, Black		100	38	0.93
		500	260	0.96
		2000	1093	0.97
	Oxidized at 1100°F	500	260	0.07
		1000	538	0.11

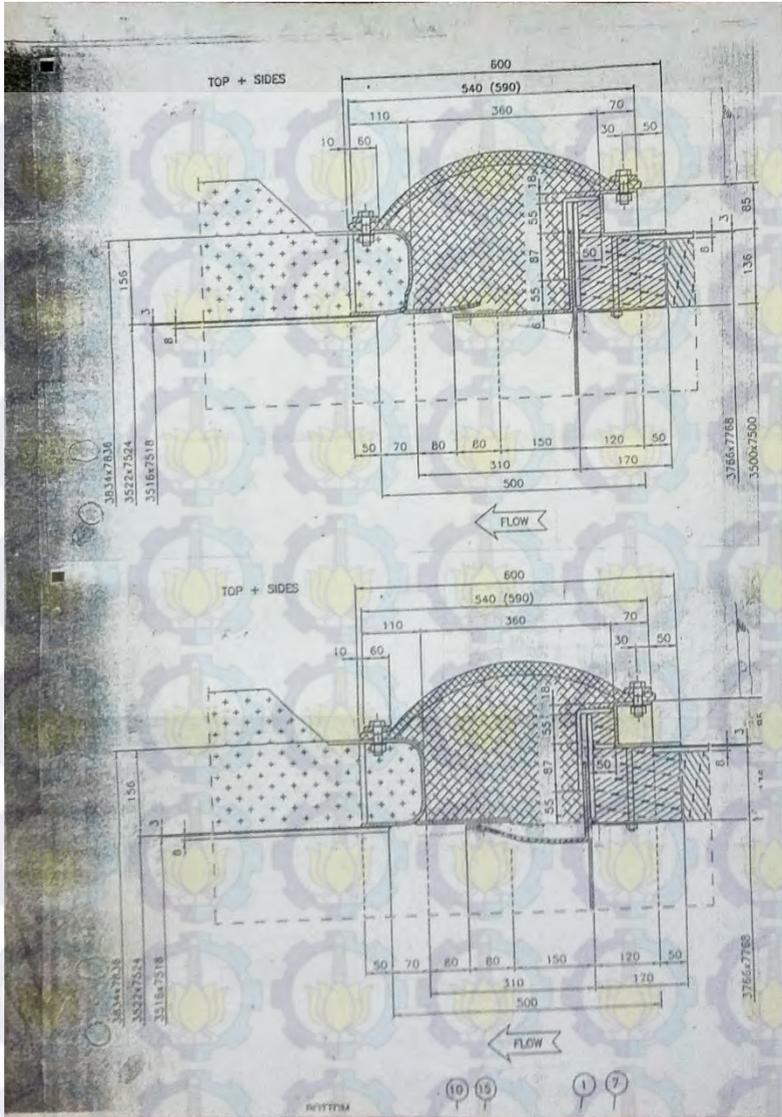
	Material	°F	°C	Emissivity		
	Rhodium Flash (0.0002 on 0.0005 Ni)	200–700	93–371	.10–.18		
Silver	Plate (0.0005 on Ni) Polished	200–700	93–371	.06–.07		
		100	38	0.01		
		500	260	0.02		
		1000	538	0.03		
Steel	Cold Rolled Ground Sheet Polished Sheet	200	93	.75–.85		
		1720–2010	938–1099	.55–.61		
		100	38	0.07		
		500	260	0.1		
	Mild Steel, Polished Mild Steel, Smooth Liquid	1000	538	0.14		
		75	24	0.1		
		75	24	0.12		
		2910–3270	1599–1793	0.28		
	Steel, Unoxidized Steel, Oxidized	212	100	0.08		
		77	25	0.8		
		Steel Alloys	Type 301, Polished Type 301, Polished Type 301, Polished Type 303, Oxidized	75	24	0.27
				450	232	0.57
1740	949			0.55		
600–2000	316–1093			.74–.87		
	Type 310, Rolled Type 316, Polished Type 316, Polished Type 316, Polished Type 321 Type 321 Polished Type 321 w/BK Oxide Type 347, Oxidized Type 350 Type 350 Polished Type 446, Polished Type 17-7 PH Polished Oxidized Type PH-15-7 MO	1500–2100	816–1149	.56–.81		
		75	24	0.28		
		450	232	0.57		
		1740	949	0.66		
		200–800	93–427	.27–.32		
		300–1500	149–815	.18–.49		
		200–800	93–427	.66–.76		
		600–2000	316–1093	.87–.91		
		200–800	93–427	.18–.27		
		300–1800	149–982	.11–.35		
		300–1500	149–815	.15–.37		
		200–600	93–316	.44–.51		
Stellite	Polished	300–1500	149–815	.09–.16		
		600–2000	316–1093	.87–.91		
		300–1200	149–649	.07–.19		
		3600	1982	0.26		
Tantalum	Unoxidized	1340	727	0.14		
		2000	1093	0.19		
		5306	2930	0.3		
Tin, Unoxidized		77	25	0.04		
		212	100	0.05		
Tinned Iron, Bright		76	24	0.05		
		212	100	0.08		
Titanium, Alloy C110M	Polished	300–1200	149–649	.08–.19		

	Material	°F	°C	Emissivity
Tungsten	Unoxidized	77	25	0.02
	Unoxidized	212	100	0.03
	Unoxidized	932	500	0.07
	Unoxidized	1832	1000	0.15
	Unoxidized	2732	1500	0.23
	Unoxidized	3632	2000	0.28
Uranium Oxide	Filament (Agod)	100	38	0.03
	Filament (Agod)	1000	538	0.11
	Filament (Agod)	5000	2760	0.35
Zinc	Bright, Galvanized	100	38	0.23
	Commercial 99.1%	500	260	0.05
	Galvanized	100	38	0.28
	Oxidized	500-1000	260-538	0.11
	Polished	100	38	0.02
	Polished	500	260	0.03
	Polished	1000	538	0.04
	Polished	2000	1093	0.06
Nonmetals				
Adobe	68 (20)			0.9
Asbestos	Board	100	38	0.96
	Cement	32-392	0-200	0.96
	Cement, Red	2500	1371	0.67
	Cement, White	2500	1371	0.65
	Cloth	199	93	0.9
	Paper	100-700	38-371	0.93
Asphalt, pavement	Slate	68	20	0.97
Asphalt, tar paper		100	38	0.93
Basalt		68	20	0.93
Brick	Red, rough	70	21	0.93
	Gault Cream	2500-5000	1371-2760	.26-.30
	Fire Clay	2500	1371	0.75
	Light Buff	1000	538	0.8
	Lite Clay	2500	1371	0.43
	Fire Brick	1832	1000	.75-.80
	Magnesite, Refractory	1832	1000	0.38
	Grey Brick	2012	1100	0.75
	Silica, Glazed	2000	1093	0.88
	Silica, Unglazed	2000	1093	0.8
Carborandum	Sandlime	2500-5000	1371-2760	.59-.63
Ceramic		1850	1010	0.92
	Alumina on Inconel	800-2000	427-1093	.69-.45
	Earthenware, Glazed	70	21	0.9
	Earthenware, Matte	70	21	0.93

Nonmetals		°F	°C	Emissivity
	Greens No. 5210-2C	200-750	93-399	.89-.82
	Coating No. C20A	200-750	93-399	.73-.67
	Porcelain	72	22	0.92
	White Al ₂ O ₃	200	93	0.9
	Zirconia on Inconel	800-2000	427-1093	.62-.45
Clay	68 (20)	0.39	0.39	
	Fired at	158	70	0.91
	Shale at	68	20	0.69
	Tiles, Light Red	2500-5000	1371-2760	.32-.34
	Tiles, Red	2500-5000	1371-2760	.40-.51
	Dark Purple	2500-5000	1371-2760	0.78
Concrete	Rough	32-2000	0-1093	0.94
	Tiles, Natural	2500-5000	1371-2760	.63-.62
	Tiles, Brown	2500-5000	1371-2760	.87-.83
	Tiles, Black	2500-5000	1371-2760	.94-.91
Cotton Cloth	68 (20)			0.77
Dolomitic Lime	68 (20)			0.41
Emery Corundum	176 (80)			0.86
Glass	Convex D	212	100	0.8
	Convex D	600	316	0.8
	Convex D	932	500	0.76
	Nonex	212	100	0.82
	Nonex	600	316	0.82
	Nonex	932	500	0.78
	Smooth	32-200	0-93	.92-.94
Granite		70	21	0.45
Gravel		100	38	0.28
Gypsum		68	20	.80-.90
Ice, Smooth		32	0	0.97
Ice, Rough		32	0	0.98
Lacquer	Black	200	93	0.96
	Blue, on Al Foil	100	38	0.78
	Clear, on Al Foil (2 coats)	200	93	.08 (.09)
	Clear, on Bright Cu	200	93	0.66
	Clear, on Tarnished Cu	200	93	0.64
	Red, on Al Foil (2 coats)	100	38	.61 (.74)
	White	200	93	0.95
	White, on Al Foil (2 coats)	100	38	.69 (.88)
	Yellow, on Al Foil (2 coats)	100	38	.57 (.79)
Lime Mortar		100-500	38-260	.90-.92
Limestone		100	38	0.95
Marble, White		100	38	0.95
	Smooth, White	100	38	0.56
	Polished Gray	100	38	0.75
Mica		100	38	0.75

Nonmetals		°F	°C	Emissivity
Oil on Nickel	0.001 Film	72	22	0.27
	0.002 Film	72	22	0.46
	0.005 Film	72	22	0.72
	Thick Film	72	22	0.82
Oil, Linseed	On Al Foil, uncoated	250	121	0.09
	On Al Foil, 1 coat	250	121	0.56
	On Al Foil, 2 coats	250	121	0.51
	On Polished Iron, .001 Film	100	38	0.22
	On Polished Iron, .002 Film	100	38	0.45
	On Polished Iron, .004 Film	100	38	0.65
	On Polished Iron, Thick Film	100	38	0.83
Paints	Blue, Cu_2O	75	24	0.94
	Black, CuO	75	24	0.96
	Green, Co_2O_3	75	24	0.92
	Red, Fe_2O_3	75	24	0.91
	White, Al_2O_3	75	24	0.94
	White, Y_2O_3	75	24	0.9
	White, ZnO	75	24	0.95
	White, $MgCO_3$	75	24	0.91
	White, ZrO_2	75	24	0.95
	White, Tb_2O_3	75	24	0.9
	White, MgO	75	24	0.91
	White, $PbCO_3$	75	24	0.93
	Yellow, PbO	75	42	0.9
	Yellow, $PbCrO_4$	75	24	0.93
Paints, Aluminum	100 (38)	100	38	.27-.67
	10% Al	100	38	0.52
	26% Al	100	38	0.3
	Dow XP-310	200	93	0.22
Paints, Bronze	Low			.34-.80
	Gum Varnish (2 coats)	70	21	0.53
	Gum Varnish (3 coats)	70	21	0.5
Paints, Oil	Cellulose Binder (2 coats)	70	21	0.34
	All colors	200	93	.92-.96
	Black	200	93	0.92
	Black Gloss	70	21	0.9
	Camouflage Green	125	52	0.85
	Flat Black	80	27	0.88
	Flat White	80	27	0.91
	Gray-Green	70	21	0.95
	Green	200	93	0.95
	Lamp Black	209	98	0.96
Red	200	93	0.95	
White	200	93	0.94	

Nonmetals		°F	°C	Emissivity
Quartz, Rough, Fused	Glass, 1.98 mm	540	282	0.9
	Glass, 1.98 mm	1540	838	0.41
	Glass, 6.88 mm	540	282	0.93
	Glass, 6.88 mm	1540	838	0.47
	Opaque	570	299	0.92
Red Lead	Opaque	1540	838	0.68
		212	100	0.93
Rubber, Hard		74	23	0.94
Rubber, Soft, Gray		76	24	0.86
Sand		68	20	0.76
Sandstone		100	38	0.67
Sandstone, Red		100	38	.60-.83
Sawdust		68	20	0.75
Shale		68	20	0.69
Silica, Glazed		1832	1000	0.85
Silica, Unglazed		2012	1100	0.75
Silicon Carbide		300-1200	149-649	.83-.96
Silk Cloth		68	20	0.78
Slate		100	38	.67-.80
Snow, Fine Particles	20 (D7)			0.82
Snow, Granular	18 (D8)			0.89
Soil	Surface	100	38	0.38
	Black Loam	68	20	0.66
	Plowed Field	68	20	0.38
Soot	Acetylene	75	24	0.97
	Camphor	75	24	0.94
	Candle	250	121	0.95
	Coal	68	20	0.95
Stonework		100	38	0.93
Water	100 (38)	100	38	0.67
Waterglass	68 (20)	68	20	0.96
Wood	Low			.80-.90
	Beech, Planed	158	70	0.94
	Oak, Planed	100	38	0.91
	Spruce, Sanded	100	38	0.89



DAFTAR PUSTAKA

1. ANONYMOUS. **OPERATION & MAINTENANCE MANUAL HRSG**, VOL 21.1 CHAPTER 3.3
2. A Cengel, A. Y. **Heat Transfer**, Second Edition. 2002
3. Higgins, Lindley R., dan Keith R, Mobbley. **Maintenance Engineering Handbook**, Sixth Edition. McGraw-Hill. New York. 2002
4. Keith R. Mobbley. **An Introduction To Predictive Maintenance**, Second Edition, Elsevier Science. New York. 2002
5. Minkina W, Sebastian Dudzik. **Infrared Thermography, Errors and Uncertainties**. John Willey & Sons, Ltd. 2009
6. P. Zayicek. **Infrared Thermography Guide (Revision 3). California**. 2002

BIOGRAFI PENULIS



Assalaamu'alaikum, Wr, Wb. Penulis bernama lengkap Hendra Eka Prasetya Putra yang lahir pada tanggal 18 September 1994 di Kota Surabaya, Provinsi Jawa Timur. Penulis merupakan anak sulung dari 3 bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh yaitu SDK Santo Yusup Sidoarjo, SMPK Santo Carolus Surabaya, SMA Negeri 15 Surabaya dengan bidang Studi IPA. Setelah itu penulis meneruskan jenjang pendidikan tingkat perguruan tingginya di Program Studi D3 Teknik Mesin bidang Konversi Energi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2012. Selama menempuh pendidikan tingkat perguruan tinggi penulis telah mengikuti beberapa pelatihan serta berpartisipasi sebagai panitia dalam beberapa kegiatan non-akademik baik tingkat jurusan, fakultas maupun institut. Pengalaman kerja Penulis yaitu kerja praktek di JOB Pertamina–Petrochina East Java (PPEJ) di Jalan Lingkar Pertamina, Desa Rahayu, Kecamatan Soko, Kabupaten Tuban.