

SKRIPSI

**“ANALISIS MUTU HASIL UJI RADIOGRAFI
PENGELASAN LAMBUNG KAPAL TUNDA 2 X 2200 HP
TYPE ASD “**

Disusun dan diajukan oleh:

NADILA

D031191012



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2023

LEMBAR PENGESAHAN**JUDUL SKRIPSI****ANALISIS MUTU HASIL UJI RADIOGRAFI PENGELASAN
LAMBUNG KAPAL TUNDA 2 X 2200 HP TYPE ASD**

Disusun dan diajukan oleh:

NADILA**D031191012**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal September 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan Menyetujui,

Pembimbing I



Ir. Farianto Fachruddin L.,ST.,MT.
NIP. 19700426 199412 1 001

Pembimbing II



Fadhil Rizki Clausthaldi.,ST.,B.Eng.,M.Sc
NIP. 19940614 202011 5 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.
NIP. 19730206 200012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : NADILA
NIM : D031191012
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ANALISIS MUTU HASIL UJI RADIOGRAFI PENGELASAN LAMBUNG KAPAL TUNDA 2 X 2200 HP TYPE ASD

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasikan oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 14 September, 2023

Yang Menyatakan


Nadila

ANALISIS MUTU HASIL UJI RADIOGRAFI PENGELASAN LAMBUNG KAPAL TUNDA 2 X 2200 HP TYPE ASD

Nadila¹, Farianto Fachruddin^{2*}, Fadhil Rizki Clausthaldi²

- 1) Alumni Program Studi Teknik Perkapalan UNHAS
- 2) Dosen Program Studi Teknik Perkapalan UNHAS

*) Correspondent author: fariantof.lage@unhas.ac.id

ABSTRAK

Hasil pengujian tes radiografi perlu adanya penjaminan mutu untuk terhindar dari kerugian baik pada segi *materil* dan *non materil*. Tujuan paper ini adalah diketahui adanya faktor-faktor berpengaruh terhadap kualitas hasil tes radiografi pengelasan dan nilai kualitas *sigma*. Melalui tulisan ini, tergambarkan pengaplikasian metode *six sigma* sebagai salah satu metode perbaikan kualitas berbasis statistik. Sifat metode ini adalah komprehensif dengan tujuan minimalisasi sumber masalah. DMAIC (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*) digunakan sebagai pendekatan dalam implementasi metode *six sigma*. Hasil analisis dijelaskan bahwa *Weld defect* film radiografi berupa: *porosity (P)* sebesar 25%, *slag inclusion (SI)* sebesar 55%, *worm hole (WH)* sebesar 10%, dan *incomplete penetration (IP)* sebesar 10% disebabkan karena faktor manusia, metode, lingkungan, *measurement* (pengukuran), mesin dan material. Hasil analisis dijelaskan bahwa cacat *artefak* film radiografi berupa: (1) cacat goresan film sebesar 70%; (2) cacat kebocoran cahaya sebesar 19%; (3) cacat reshot sebesar 11%. Cacat tersebut disebabkan oleh faktor manusia, metode, lingkungan dan material. Hasil lain terkait nilai level *six sigma* sebesar 2.53 diperoleh nilai DPMO sebesar 151416.12, terkategori baik.

Kata kunci : *Mutu, Six sigma, Radiography Test*

QUALITY ANALYSIS OF RADIOGRAPHIC TEST RESULTS OF HULL WELDING 2 X 2200 HP TUGBOAT TYPE ASD

Nadila¹, Farianto Fachruddin^{2*}, Fadhil Rizki Clausthaldi²

- 1) Alumni of the Shipbuilding Engineering department at Hasanuddin University
- 2) Lecturer of Shipbuilding Engineering department at Hasanuddin University

*) Correspondent author: fariantof.lage@unhas.ac.id

ABSTRACT

Radiography test results need quality assurance to avoid losses both in terms of material and non-material. The purpose of this paper is to determine the factors affecting the quality of welding radiography test results and the value of sigma quality. This paper describes the application of the six sigma method as a statistical-based quality improvement method. The nature of this method is comprehensive with the aim of minimizing the source of the problem. DMAIC (Define-Measure-Analyze-Improve-Control) is used as an approach in implementing the six sigma method. The analysis results explained that the radiographic film defects were: porosity (P) by 25%, slag inclusion (SI) by 55%, worm hole (WH) by 10%, and incomplete penetration (IP) by 10% due to hole (WH) by 10%, and incomplete penetration (IP) by 10% due to human, method, environment, measurement, machine and material factors, due to human factors, methods, environment, measurement, machine and material. The analysis results explained that radiographic film artifact defects were: (1) 70% film scratch defects; (2) 19% light leakage defects; (3) 11% reshot defects. The defects are caused by human factors, methods, environment and materials. Other results related to the six sigma level value of 2.53 obtained a DPMO value of 151416.12, categorized as good.

Keywords: Quality, Six sigma, Radiography Test

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wa rahmattullahi wa barakatuh

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya serta shalawat dan salam penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir penelitian ini. Berdasarkan hasil seminar proposal, judul penelitian yang dikaji adalah "Analisis Mutu Hasil Uji Radiografi Pengelasan Lambung Kapal Tunda 2 x 2200 HP TYPE ASD"

Pengerjaan tugas akhir ini merupakan persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa penyelesaian tugas akhir ini adalah suatu kebanggaan tersendiri, karena tantangan dan hambatan yang menghadang selama mengerjakan tugas akhir ini dapat terlewati dengan usaha dan upaya yang sungguh-sungguh. Dalam penyusunan laporan penulis tidak mungkin melakukan sendiri tanpa adanya bantuan dari orang-orang disekitar. Melalui lembar ini penulis mengucapkan banyak terimah kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Ayahanda Abd Haris dan Ibunda Almarhumah Jarra, atas seluruh kesabaran, pengorbanan dan materi yang telah diberikan sebagai bentuk kasih sayang serta doa, nasihat dan dukungan yang tiada hentinya. Kepada saudara/i penulis Johan, Herlina, Sri Nurmalinda, Umar Said dan Darmiati, yang selalu ikut mendoakan dan memberikan semangat kepada penulis sekaligus sebagai sponsor kedua.
2. Bapak Farianto Fachruddin L.,ST.,MT. selaku pembimbing I dan Bapak Fadhil Rizki Clausthaldi, ST.,B.Eng.,M.Sc. selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dalam pengerjaan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST.,MT selaku ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Wahyuddin ST.,MT. selaku Kepala Labo Rancang Bangun Kapal.

5. Bapak Dr. Ir. Syamsul Asri, MT. dan Ibu Wihdat Djafar, ST.,MT.,MlogsupChMgmt. selaku penguji dalam tugas akhir ini.
6. Bapak Francescus Surya Sukmana selaku Koordinator QA/QC dan berbagai pihak di PT Dumas Tanjung Perak Shipyards atas waktu, bantuan, kesempatan serta data yang diberikan untuk membantu kelancaran pengerjaan skripsi ini.
7. Ibu Uti, Ibu Ani dan kak Jeje selaku staf departemen perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala administrasi di kampus.
8. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
9. Kepada teman-teman Perkapalan 2019, terima kasih telah memberi pengalaman tentang persahabatan selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Perkapalan.
10. Kepada teman-teman seperjuangan Labo Rancang Bangun 2019.

Penulis menyadari bahwa didalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu penulis memohon kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan dan peningkatan kualitas penyusunan skripsi di masa yang akan datang. Penulis berharap tugas akhir (skripsi) ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan terkhusus pada penulis.

Gowa.....2023

PENULIS

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR KEASLIAN	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Batasan Masalah	3
BAB II LANDASAN TEORI.....	4
2.1. Pengujian NDT (<i>Non Destructive Testing</i>) Pada Industri Pembangunan Kapal.....	4
2.2. <i>Radiography Test</i>	4
2.2.1. Prinsip <i>Radiography</i>	6
2.2.2. Sensitivitas <i>Film Radiography</i>	8
2.2.3. Metode Pengujian <i>radiography</i>	9
2.2.4. IQI (<i>Image Quality Indicator</i>) <i>Film Radiography</i>	14
2.2.5. <i>Film Radiography</i>	15
2.2.6. Klasifikasi Jenis <i>Film Radiography</i>	16
2.2.7. Pemilihan <i>Film Radiography</i>	17
2.2.8. Pemrosesan <i>Film Radiography</i>	18
2.3. <i>Artefak</i> Pada <i>Film Radiography</i>	20
2.3.1. <i>Artefak</i> yang terjadi sebelum pemrosesan.....	20
2.3.2. <i>Artefak</i> yang terjadi selama pemrosesan.....	23

2.3.3.	<i>Artefak</i> yang terjadi setelah pemrosesan	26
2.4.	Indikasi Diskontinuitas Dari Las-Lasan.....	27
2.4.1.	Porosity	27
2.4.2.	<i>Slag Inclusion</i>	27
2.4.3.	Incomplete Penetration	28
2.4.4.	Undercut.....	28
2.4.5.	<i>Crack</i>	29
2.5.	Kualitas	29
2.5.1.	Pengertian Kualitas	29
2.5.2.	Dimensi Kualitas.....	30
2.5.3.	Faktor Yang Mempengaruhi Kualitas.....	31
2.5.4.	Konsep Trilogi Kualitas	34
2.5.5.	Kategori Mutu Hasil Uji Radiografi	36
2.6.	Pengertian <i>Six Sigma</i>	37
2.6.1.	Sejarah <i>six sigma</i>	39
2.6.2.	Aspek Kunci Dalam Implementasi Six Sigma.....	39
2.6.3.	Tahap Tahap Implementasi	39
BAB III METODE PENELITIAN		46
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	46
3.2.	Variabel Penelitian.....	46
3.3.	Populasi dan sampel penelitian	46
3.4.	Objek Penelitian.....	46
3.5.	Teknik Pengumpulan Data.....	47
3.6.	Teknik analisis	57
3.7.	Input Output Analisis Penelitian	60
3.8.	Alur Penelitian	62
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		63
4.1.	Profil Responden.....	63
4.2.	Penerapan Manajemen Mutu	64
4.2.1.	Manajemen Mutu	65
4.3.	Mendefenisikan (<i>Define</i>).....	66
4.3.1.	Proses <i>Mapping</i> Dengan Konsep SIPOC.....	69

4.3.2.	Penentuan CTQ (<i>Critical to quality</i>).....	72
4.3.3.	<i>Critical to Process</i> (CTP)	73
4.4.	Mengukur (<i>Measure</i>)	74
4.4.1.	Pengukuran Kinerja Proses	75
4.4.2.	Pengukuran Kinerja Produk	75
4.4.3.	Kategori Mutu	79
4.5.	Menganalisis (<i>Analyze</i>).....	80
4.5.1.	Analisis Diagram Pareto	80
4.5.2.	Analisis Diagram Sebab Akibat (diagram ishikawa/ <i>fishbone</i>)	83
4.6.	Pembahasan dan Diskusi.....	95
4.7.	Meningkatkan (<i>Improve</i>).....	95
4.6.1.	Penggunaan konsep 5W + 1H.....	96
4.6.2.	Rekomendasi Perbaikan <i>defect</i> pengelasan.....	98
4.6.3.	Rekomendasi perbaikan <i>artefak</i> film radiografi	99
4.8.	Mengendalikan (<i>Control</i>).....	100
BAB V PENUTUP		102
5.1.	Kesimpulan	102
5.2.	Saran	103
DAFTAR PUSTAKA		104
LAMPIRAN		108

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sumber Radiasi Sinar-x dan Sinar Gamma.....	5
Gambar 2. 2 Karakteristik Penembusan Radiasi Pada Material Yang Berbeda.....	6
Gambar 2. 3 Prinsip Pendeteksi Diskontinuitas Menggunakan Radiasi	7
Gambar 2. 4 Prinsip Dasar Pengujian Radiography.....	8
Gambar 2. 5 (A) Kontras besar (B) Kontras kecil	9
Gambar 2. 6 (A) Low Contrast, Poor Defenition (B) High Contrast, Good Defenition	9
Gambar 2. 7 Internal source image internal film technique	10
Gambar 2. 8 Internal film technique	10
Gambar 2. 9 Panaromic Technique.....	11
Gambar 2. 10 Contact technique.....	11
Gambar 2. 11 Non contact technique.....	12
Gambar 2. 12 Ellips technique.....	13
Gambar 2. 13 Superimposed technique	13
Gambar 2. 14 contoh penggunaan ketebalan IQI dengan ketebalan material 0.25 inchi ..	14
Gambar 2. 15 (a) hole type (b) wire type.....	15
Gambar 2. 16 Contoh peletakan IQI (Image Quality Indicator)	15
Gambar 2. 17 Penampang film radiography dan jenis bagiannya	16
Gambar 2. 18 penyinaran menggunakan film radiography.....	17
Gambar 2. 19 struktur butiran film lambat (a) film cepat (b)	18
Gambar 2. 20 tahapan proses pemrosesan film radiography	20
Gambar 2. 21 <i>artefak</i> crimp marks sebelum dan sesudah exsposure.....	21
Gambar 2. 22 pressure mark caused before exposure, visible as low density	21
Gambar 2. 23 static marks	22
Gambar 2. 24 sreen marks terdapat kata depan tergores pada permukaan layar yang berwarna gelap dan rambut yang ditempatkan di layar film yang tampak terang.	22
Gambar 2. 25 light leaks	23
Gambar 2. 26 Streaking yang disebabkan oleh gantungan film yang tidak dibersihkan dengan baik	23
Gambar 2. 27 spotting karena cipratan stopbath, fixer, air dan developer pada film	24
Gambar 2. 28 endapan permukaan yang disebabkan oleh air pencucian yang terkontaminasi dalam prosesor secara otomatis	25
Gambar 2. 29 garis PI, dua garis yang muncul berulang kali pada interval 3,14 x diameter roller.....	25

Gambar 2. 30 pressure marks disebabkan oleh benda asing pada roller atau jarak antar roller yang tidak sesuai	26
Gambar 2. 31 Cacat Las Porosity.....	27
Gambar 2. 32 Cacat Las Slag Inclusion.....	28
Gambar 2. 33 Cacat Las Incomplete Penetration (IP).....	28
Gambar 2. 34 Cacat Las Undercut.....	29
Gambar 2. 35 Cacat Las Crack	29
Gambar 2. 37 Kurva Lonceng Six Sigma	38
Gambar 2. 38 Ilustrasi SIPOC.....	42
Gambar 2. 39 Diagram pohon Critical to Satisfaction.....	43
Gambar 2. 40 konsep matric system dalam pengukuran kualitas proses	44
Gambar 2. 41 Siklus Penentuan Akar Masalah.....	45
Gambar 3. 1 X-Ray Plan Kapal Tunda 2 x 2200 HP TYPE ASD	47
Gambar 3. 2 Alat Uji Radiografi Ir- 192.....	48
Gambar 3. 3 Surveymeter Gamma.....	48
Gambar 3. 4 Lead Screen.....	49
Gambar 3. 5 X-Ray Film Cassette	49
Gambar 3. 6 IQI (Image Quality Indicator)	50
Gambar 3. 7 lead marker.....	50
Gambar 3. 8 penggaris	51
Gambar 3. 9 Lakban.....	51
Gambar 3. 10 Penentuan dan Pembersihan Letak Spot Yang Akan Di uji.....	52
Gambar 3. 11 Pemasangan film radiografi dengan ukuran 4" x 15" (101,6 mm x 381 mm).....	52
Gambar 3. 12 Pemberian Lead Marker Pada Spot yang Akan Di uji	53
Gambar 3. 13 pemasangan Wire IQI (Image Quality Indicator).....	53
Gambar 3. 14 Penempatan Penyinaran Alat Uji Radiografi	54
Gambar 3. 15 Pengaturan Ketinggian Penyinaran	54
Gambar 3. 16 Hasil Pengujian Setelah Di Lakukan Penembakan	55
Gambar 4. 1 Grafik Distribusi Frekuensi Data Kuesioner	66

Gambar 4. 2 Time Series Plot Dari Defect Pengelasan Kapal Tunda 2 x 2200 HP TYPE ASD	68
Gambar 4. 3 Diagram Jenis Defect	68
Gambar 4. 4 Time Series Plot Artefak Film Radiografi Pengelasan Kapal Tunda 2 x 2200 HP TYPE ASD	69
Gambar 4. 5 Diagram Jenis Artefak Film Radiografi Pengelasan	69
Gambar 4. 6 Diagram SIPOC Proses Pengelasan	70
Gambar 4. 7 Diagram SIPOC Proses Uji Radiografi Pengelasan	70
Gambar 4. 8 Critical To Quality	73
Gambar 4. 9 Diagram Sebab Akibat Welding Defect Porosity	86
Gambar 4. 10 Diagram Sebab Akibat Welding Defect Slag Inclusion (SI).....	87
Gambar 4. 11 Diagram Sebab Akibat Welding Defect Worm Hole (WH).....	88
Gambar 4. 12 Diagram Sebab Akibat Welding Defect Incomplete Penetration (IP)	89
Gambar 4. 13 Diagram Sebab Akibat <i>Artefak</i> Film Radiografi (Crim Marks).....	91
Gambar 4. 14 Diagram Sebab Akibat <i>Artefak</i> film radiografi (Goresan Pada Film).....	92
Gambar 4. 15 Diagram Sebab Akibat <i>Artefak</i> film radiografi (Kebocoran Cahaya).....	93
Gambar 4. 16 Diagram Sebab Akibat reshot	94

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Jenis Film Radiography	16
Tabel 2. 2 Kategori Mutu Hasil Uji Radiografi	36
Tabel 3. 1 skala 1 sampai 5 untuk penerapan manajemen kualitas	56
Tabel 3. 2 Tabel Output Input Analisis Penelitian	60
Tabel 4. 1 Profil Responden Penerapan Manajemen Mutu	63
Tabel 4. 2 Profil Responden Kepuasan Pelanggan (<i>Voice Of Customer</i>)	64
Tabel 4. 3 Tabulasi Pengolahan Data Kuesioner	65
Tabel 4. 4 Tabel Jumlah Output, <i>Defect</i> Pengelasan dan <i>Artefak</i> Film Radiografi	75
Tabel 4. 5 Data Proporsi <i>Defect</i> Pengelasan dan <i>Artefak</i> Film Radiografi	76
Tabel 4. 6 Tabel Rekapitulasi <i>Defect</i>	76
Tabel 4. 7 Tabel Rekapitulasi <i>Artefak</i> Film Radiografi	76
Tabel 4. 8 Tabel Perhitungan Nilai Sigma <i>Defect</i> Pengelasan	79
Tabel 4. 9 Tabel Perhitungan Nilai Sigma <i>Artefak</i> Film Radiografi Pengelasan	79
Tabel 4. 10 Nilai rata-rata DPMO dan Level Sigma	80
Tabel 4. 11 <i>Defect</i> dan <i>Artefak</i> Analysis Pada Hasil Tes Radiografi Pertama	81
Tabel 4. 12 <i>Defect</i> dan <i>artefak</i> Analysis Pada Hasil Tes Radiografi Kedua	82
Tabel 4. 13 <i>Defect</i> dan <i>Artefak</i> Analysis Pada Hasil Tes Radiografi Ketiga	82
Tabel 4. 14 Tabel Analisis 5W + 1H <i>defect</i> pengelasan	96
Tabel 4. 15 Tabel Analisis 5W + 1H <i>Artefak</i> Film Radiografi pengelasan	97

DAFTAR NOTASI

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
NDT	<i>Non Destructive Testing</i>
RT	<i>Radiography Test</i>
SWSV	<i>Single Wall Exposure</i>
DWSV	<i>Double Wall Single Viewing</i>
DWDV	<i>Double Wall Double Viewing</i>
IQI	<i>Image Quality Indicator</i>
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i>
VOC	<i>Voice Of Customer</i>
SIPOC	<i>Supplier, Input, Process, Output, Customer</i>
CTQ	<i>Critical To Quality</i>
CTP	<i>Critical To Proses</i>
DPMO	<i>Defect Per Million Opportunities</i>
DPO	<i>Defect Per Opportunities</i>
COPQ	<i>Cost Of Poor Quality</i>
P	<i>Porosity</i>
SI	<i>Slag Inclusion</i>
WH	<i>Worm Hole</i>
IP	<i>Incomplete Penetration</i>
Yield	<i>Persentase Produk Yang Bebas Cacat (defect-free)</i>
Defect	<i>Cacat pengelasan</i>
Artefak	<i>Cacat Yang Terjadi Pada Film Radiografi</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabulasi Data Kuesioner Penerapan Manajemen Mutu	109
Lampiran 2 Tabulasi Data Kuesioner survey Kepuasan Pelanggan	112
Lampiran 3 X-Ray Plan	115
Lampiran 4 CTQ Pengelasan	116
Lampiran 5 CTQ Film Radiografi Pengelasan	117
Lampiran 6 Tabulasi <i>Defect</i> Analisis Film Radiografi	118
Lampiran 7 Kuesioner Penentuan Diagram Sebab Akibat/Ishikawa	122
Lampiran 8 Brainstorming Dengan Jasa Inspeksi, Welder, dan Koordinator QA/QC ...	125
Lampiran 9 Konversi DPMO ke Nilai Sigma Berdasarkan Konsep Motorola	126

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pengelasan merupakan bagian tak terpisahkan dari pertumbuhan industri. Proses pengelasan sering kali muncul berbagai permasalahan yaitu ketidaksempurnaan dalam proses penyambungan seperti (*crack*), jika permasalahan pada suatu proses pengelasan tidak secepatnya diketahui dan dilakukan proses perbaikan, maka area tersebut akan memunculkan permasalahan yang semakin luas (Sulaiman F. , 2020). Untuk mengetahui cacat pengelasan (*defect*) dilakukan dengan inspeksi visual dan metode *Non Destructive Testing (NDT)* dengan teknik *radiography test*.

Radiography test disyaratkan adanya pengeksposan film menggunakan sinar X atau *gamma* dengan menembus spesimen, pemrosesan film setelah terekspos, dan interpretasi hasil rekam pada film radiografi tersebut. Sistem kerja *radiography test* tentunya memiliki keterbatasan karena mengharuskan adanya akses dari kedua sisi spesimen dan diskontinuitas laminar seringkali tidak terdeteksi (Convair, 2013). Selain itu, tes radiografi membutuhkan kemampuan khusus untuk menganalisa data, hal tersebut untuk dapat menghindari indikasi kesalahan analisis (Larisang, 2020).

Terdapat tiga indikasi pada *film radiography* berdampak pada kesalahan analisis yaitu indikasi sebelum pemrosesan, selama pemrosesan dan setelah pemrosesan (Convair, 2013). Kesalahan analisis menyebabkan perusahaan rugi dalam segi uang, waktu, dan kepercayaan konsumen/*client* (Bora, Larisang, & dkk, 2020). Berdasarkan fakta pada film radiografi jika terdapat indikasi diakibatkan karena goresan jika dilihat pada viewer densitasnya lebih gelap dapat mempengaruhi dalam proses interpretasi diskontinuitas pada las-lasan (ASME, 2019). Oleh karenanya perlu dilakukan pengendalian kualitas terhadap hasil *Radiography Test* untuk menghindari indikasi kesalahan analisis.

Pada penelitian ini, digunakan pengaplikasian metode *six sigma* sebagai salah satu metode perbaikan kualitas berbasis statistik bersifat komprehensif untuk

mengeliminasi sumber masalah utama. Pada pendekatan tersebut menggunakan DMAIC (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*) (Yusuf Latief R. , 2009). Keuntungan dalam penggunaan *six sigma* dibandingkan dengan metode lain yaitu dapat menghilangkan pemborosan, mengurangi biaya karena kualitas buruk, dan memperbaiki efektivitas pada semua proses (Syukron & Kholi, 2012). Keluaran dari metode *six sigma* dalam pembangunan kapal adalah nilai/level kinerja industri galangan kapal (Praharsi & dkk, 2019).

Oleh karena itu penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul: “ANALISIS MUTU HASIL UJI RADIOGRAFI PENGELASAN LAMBUNG KAPAL TUNDA 2 X 2200 HP TYPE ASD”

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang telah dijelaskan maka penulis merumuskan masalah sebagai berikut :

1. Faktor-faktor apa saja berpengaruh terhadap kualitas hasil tes radiografi pengelasan?
2. Berapa nilai *six sigma* dari data hasil uji radiografi kapal Tunda 2 x 2200 HP TYPE ASD?
3. Mutu hasil uji radiografi pengelasan masuk kategori apa?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui faktor-faktor berpengaruh terhadap kualitas hasil tes radiografi pengelasan.
2. Untuk mengetahui nilai kualitas *sigma* hasil tes radiografi pengelasan.
3. Untuk mengetahui kategori mutu hasil uji radiografi pengelasan.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi penulis dan bagi pihak-pihak lainnya :

1. Bagi Insititusi

Menambah data riset terkait pengujian NDT dengan metode *radiography test* pada pembangunan kapal yang bermanfaat bagi akademis, dan sebagai referensi empiris untuk memberikan kontribusi ilmiah.

2. Bagi Perusahaan

Hasil dan kontribusi diharapkan dalam penelitian ini adalah dapat memberikan masukan bagi penjagaan kualitas untuk meminimalkan *defect* yang didefinisikan sebagai keluaran (*output*) sehingga permasalahan *rework* tinggi bisa di eliminasi.

1.5. Batasan Masalah

Dalam pengerjaan penelitian ini akan dibatasi dalam beberapa batasan masalah dengan tujuan untuk memfokuskan permasalahan yang dikaji :

1. Hanya membahas jenis cacat (*defect*) pengelasan dan *artefak* pada hasil tes radiografi.
2. Hanya membahas mengenai tes radiografi pada pembangunan kapal.
3. Pengujian tes radiografi dilakukan pada semua bagian kapal menjadi kekuatan struktur kapal.
4. Hanya membahas mengenai faktor berpengaruh pada kualitas hasil tes radiografi bukan nilai kualitas dari hasil tes radiografi.
5. Hanya membahas penetapan *improve* (perbaikan) mengenai *defect* pengelasan dan *artefak* pada film radiografi.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Pengujian NDT (*Non Destructive Testing*) Pada Industri Pembangunan Kapal

Sejarah pengujian *radiography* melibatkan dua langkah awal penting bagi dunia. Pertama penemu sinar-x oleh Wilhelm Conrad Roentgen pada tahun 1895 dan kedua penemuan bahan radioaktif baru disebut radium oleh Marie dan Pierre Curie diumumkan pada desember 1898 (Mulya, 2017).

Uji tanpa merusak (NDT) merupakan sarana penunjang diandalkan untuk pengendalian dan pemastian mutu suatu pengelasan, umumnya pada konstruksi kapal berbahan baja, sehingga diperlukan suatu proses pengelasan tepat (Sulaiman, 2019). NDT dilakukan paling tidak sebanyak dua kali. Pertama, selama proses fabrikasi dan diakhir proses fabrikasi, untuk menentukan suatu komponen dapat diterima setelah melalui tahap-tahap fabrikasi dan merupakan bagian dari kendali mutu komponen. Kedua, NDT dilakukan setelah komponen digunakan dalam jangka waktu tertentu, tujuannya adalah menemukan kegagalan parsial sebelum melampaui *damage tolerance*-nya (Islam, 2020).

Berdasarkan ASME V, terdapat beberapa metode pengujian NDT yaitu (ASME, 2019):

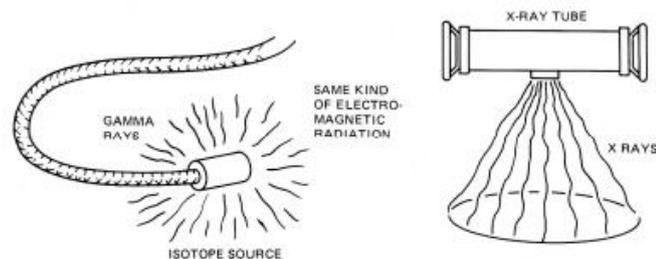
- | | |
|---------------------------|--|
| 1. RT – Radiography | 6. LT – Leak Testing |
| 2. UT – Ultrasonics | 7. ET – Electromagnetic (Eddy Current) |
| 3. MT – Magnetic Particle | 8. AE – Acoustic Emission |
| 4. PT – Liquid Penetrants | |
| 5. VT – Visual | |

Pada penelitian ini menggunakan pengujian NDT dengan metode *radiography test* untuk menentukan mutu sambungan pengelasan yang tidak dapat terlihat secara visual (Islam, 2020)

2.2. Radiography Test

Radiography test merupakan salah satu metode pengujian tidak merusak menggunakan sumber sinar gamma atau sinar-x dengan penetrasi ke benda uji

atau las-lasan untuk mendeteksi adanya ketidaksempurnaan atau cacat pada benda uji dan hasilnya direkam dalam bentuk bayangan pada media perekam berupa *film photography* (Prana Warman, 2017). Terdapat dua macam radiasi dalam *radiography* yaitu radiasi sinar gamma dan sinar-x, kecuali sumbernya sinar-x dan gamma adalah jenis radiasi yang sama persis, pada gambar 2.1 (Division, 2011).



Gambar 2. 1 Sumber Radiasi Sinar-x dan Sinar Gamma
(Sumber : (Division, 2011))

Radiography menggunakan gelombang elektromagnetik pendek menembus bahan dan selanjutnya ditangkap oleh detektor sehingga dapat menghasilkan data yang reliable dalam pendeteksian kecacatan dibandingkan dengan metode lainnya (Jolly, 2015). *Radiography* memiliki keuntungan dibandingkan metode NDT lainnya (Dwivedi, 2018). Namun bukan berarti *radiography test* merupakan teknologi sempurna, karena terdapat kelemahan cukup menyulitkan inspector dalam mendeteksi cacat pada *film radiography* (Sulaiman, 2019).

Keuntungan *radiography test* (RT) yaitu (Convair, 2013) :

1. Dapat diaplikasikan pada banyak material.
2. Menghasilkan rekaman citra permanen.
3. Memperlihatkan bagian dalam material.
4. Menunjukkan kesalahan fabrikasi.
5. Memperlihatkan diskontinuitas struktur.

Keterbatasan *radiography test* (RT) yaitu (Convair, 2013) :

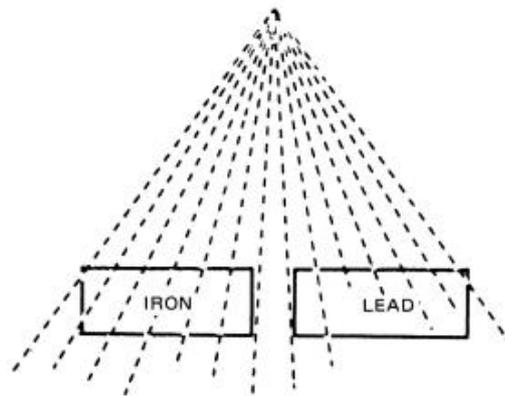
1. Tidak bisa dipakai pada benda dengan bentuk yang kompleks.
2. Mengharuskan adanya akses dari kedua sisi specimen.
3. Diskontinuitas laminar seringkali tidak terdeteksi.

4. Pertimbangan keselamatan akibat bahaya radiasi sinar-x dan gamma.
5. Metode pengujian tanpa merusak yang relatif mahal.

Pengujian *radiography* harus dilakukan sesuai dengan ISO 17636-1:2013 atau standar sesuai dan persyaratan khusus Biro Klasifikasi. Jika memungkinkan, peralatan sinar-x harus digunakan sebagai sumber radiasi atau inspeksi *radiography*. Energi radiasi (voltase tabung) harus berada dalam batas energy yang ditentukan dalam ISO 17636. Untuk mengakomodasi perbedaan ketebalan komponen, energi radiasi (voltase tabung) harus dijaga serendah mungkin dalam rentang kerja diizinkan untuk memperoleh gambar dengan kontras tinggi (IACS, 2019).

2.2.1. Prinsip *Radiography*

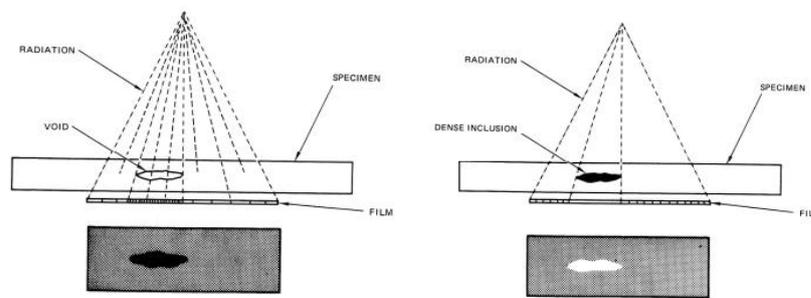
Sinar-x dan sinar gamma memiliki frekuensi tinggi dan panjang gelombang yang pendek, sinarnya mampu menembus benda-benda dan mengekspos film *radiography*. Kedalaman penembusan sinar-x dan gamma tergantung pada jenis material obyek dan energy sinar tersebut (Wahyudi & dkk, 2019).



Gambar 2. 2 Karakteristik Penembusan Radiasi Pada Material Yang Berbeda
(Sumber : (Wahyudi & dkk, 2019))

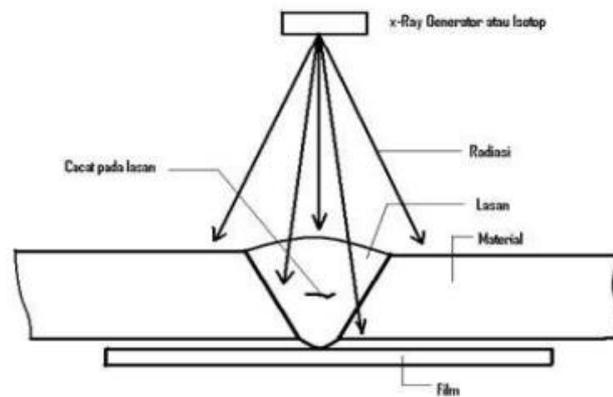
Gambar di atas memperlihatkan lebih banyak sinar menembus besi daripada yang menembus timbal, oleh karenanya timbal menyerap lebih banyak sinar daripada besi. Sinar X dan Gamma dapat mengekspos film radiografi karena kemampuannya mengionisasi material. Saat radiasi menembus film, film terekspos karena sinar mengionisasi butiran-butiran kecil perak bromida di dalam emulsi film. Ketika sinar tersebut melalui lapisan perak bromida, ia memecah

ikatan elektron antara perak dan brom, menghasilkan ion-ion perak dan brom. Terbentuknya ion perak di dalam emulsi menghasilkan citra laten atau tersembunyi dan akan nampak ketika film sudah dicuci. Pembentukan citra pada film tergantung pada banyaknya radiasi diterima oleh bagian- bagian berbeda pada film. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.3, sebuah diskontinuitas seperti rongga menghasilkan perbedaan ketebalan pada spesimen dan akan tampak sebagai bintik hitam pada hasil film radiografi. Jika diskontinuitas merupakan sebuah inklusi lebih padat dibandingkan material spesimen, maka citra pada film akan lebih terang pada titik tersebut. Sinar X akan diserap oleh inklusi lebih padat tersebut. (Wahyudi & dkk, 2019).



Gambar 2. 3 Prinsip Pendeteksi Diskontinuitas Menggunakan Radiasi
(Sumber : (Wahyudi & dkk, 2019))

Uji *radiography* terdiri dari tiga komponen utama yaitu sumber radiasi, media perekam, dan media pengaman sumber. Ketika sebuah sumber memancarkan suatu radiasi dan menembus material, radiasi akan mengalami perbedaan penyerapan oleh material tersebut (Mulya, 2017). Perbedaan penyerapan oleh material disebabkan karena adanya perbedaan ketebalan dan densitas (Division, 2011). Radiasi melewati material mengekspos film dan membentuk *shadowgraph* (Mulya, 2017).



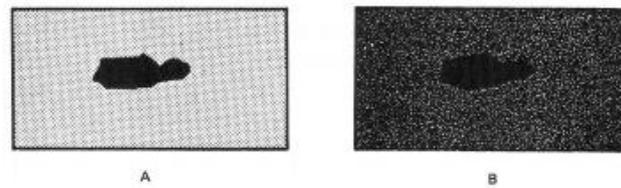
Gambar 2. 4 Prinsip Dasar Pengujian Radiography
(Sumber : (Wahyudi & dkk, 2019))

Pada prinsipnya, sinar-x dipancarkan menembus material diperiksa. Saat menembus objek, sebagian sinar akan diserap sehingga intensitasnya berkurang. Intensitas akhir kemudian direkam pada film yang sensitif. Jika ada cacat pada material, intensitas terekam tersebut akan bervariasi. Hasil rekaman pada film inilah akan memperlihatkan bagian material cacat (Pitalokha & dkk, 2016).

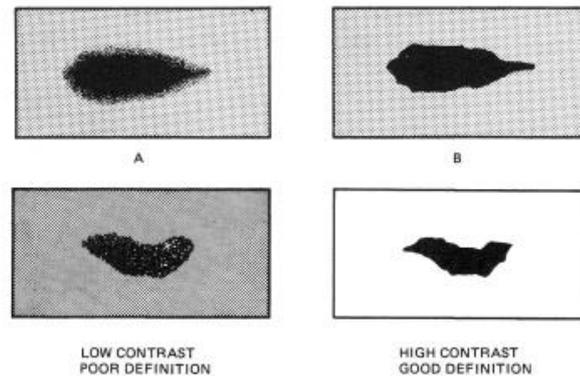
2.2.2. Sensitivitas *Film Radiography*

Sensitivitas adalah ukuran tingkat respons dari suatu diskontinuitas oleh pemeriksaan nondestruktif sedangkan sensitivitas kontras adalah persentase minimum perubahan suatu objek menghasilkan perubahan densitas/kecerahan dapat dilihat pada *film radiography* (ASME, 2019).

Sebelum *film radiography* dipakai sebagai alat uji tanpa merusak, kita harus mengetahui seberapa akurat alat tersebut. Sensitivitas *film radiography* adalah fungsi dari *contrast* dan *definition* dari *film radiography* seperti pada gambar 2.5 film “A” memperlihatkan *contrast* yang lebih besar daripada film “B” sedangkan pada gambar 2.6 film “B” memperlihatkan definisi yang lebih baik ketimbang film “A” (Mulya, 2017).



Gambar 2. 5 (A) Kontras besar (B) Kontras kecil
(Sumber : (Convair, 2013))



Gambar 2. 6 (A) Low Contrast, Poor Defenition (B) High Contrast, Good Defenition
(Sumber : (Division, 2011))

Standard sensitivitas, jika suatu spesifikasi mensyaratkan bahwa *film radiography* memiliki sensitivitas sinar-x nominal sebesar 2% dari ketebalan material. Jadi, untuk sepotong baja memiliki ketebalan 25 mm, kekosongan terkecil dapat dideteksi dari sinar-x ini adalah dimensi 0,5 mm (Dwivedi, 2018).

2.2.3. Metode Pengujian *radiography*

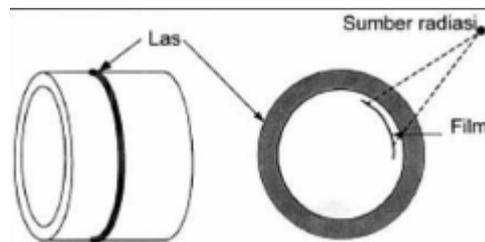
Dalam pengujian *radiography* ini memiliki berbagai ragam metode bentuk pengujian sesuai kebutuhan dan kondisi suatu kontruksi ataupun produk untuk mempermudah dalam melakukan pengujian radiografi tersebut yaitu:

A. *Single Wall Exposure* (SWSV)

Teknik *single wall exposure* sebisa mungkin harus digunakan untuk melakukan *radiography*. Apabila tidak memungkinkan penggunaan teknik *single wall*, maka harus digunakan teknik *double wall*. (ASME, 2019). Teknik penyinaran *single wall exposure* dengan melewati radiasi pada suatu dinding las benda uji dan pada film tergambar satu bagian dinding las untuk diinterpretasi. Teknik *single wall single viewing* meliputi (Kurniawan, 2017):

- *Internal source technique*

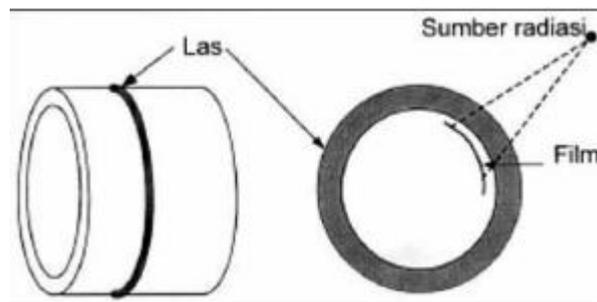
Teknik ini dapat dilakukan dengan meletakkan sumber radiasi di dalam benda uji dan film di luar benda uji seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Internal source image internal film technique
(Sumber : (Kurniawan, 2017))

- *Internal film technique*

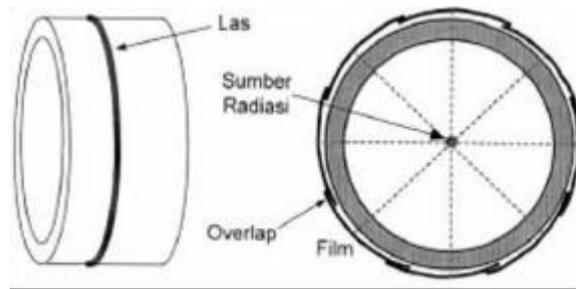
Film di dalam benda uji dan sumber radiasi di luar benda uji. Biasanya teknik ini dilakukan ketika benda uji cukup besar dimana diameter dalam benda uji minimal sama dengan *source film distance* minimal dan ada akses masuk ke dalam pipa, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.8 .



Gambar 2. 8 Internal film technique
(Sumber : (Kurniawan, 2017))

- *Panaromic Technique*

Teknik ini dilakukan dengan menempatkan sumber di sumbu benda uji untuk mendapatkan film hasil *radiography* sekeliling benda uji dengan sekali penyinaran, seperti yang di tunjukkan Gambar 2.9.



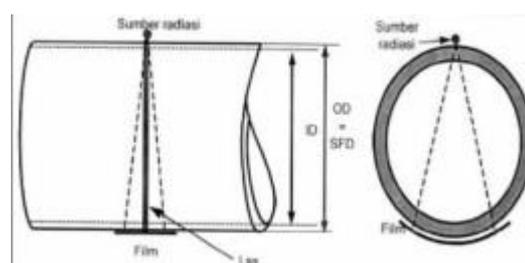
Gambar 2. 9 Panoramic Technique
(Sumber : (Kurniawan, 2017))

B. *Double Wall Single Viewing (DWSV)*

Metode *double wall single viewing* ini diterapkan pada benda uji berupa pipa dengan diameter lebih dari 100 mm. Posisi sumber sedemikian rupa sehingga radiasi melalui dua dinding las sedangkan pada film hanya tergambar satu dinding las yang dekat dengan film untuk diinterpretasi. Teknik *double wall single viewing* meliputi (Kurniawan, 2017) :

- *Contact technique*

Teknik ini dilakukan dengan melekatkan sumber ke permukaan lasan benda uji. Diameter luar benda uji besarnya minimal sama atau lebih besar dari *source film distance* minimal untuk bisa dilakukan tehnik ini. seperti yang ditukkan pada gambar 2.10.

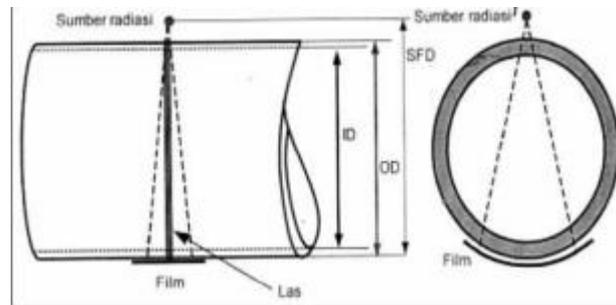


Gambar 2. 10 Contact technique
(Sumber : (Kurniawan, 2017))

- *Non contact technique*

Teknik ini dilakukan jika diameter benda uji besarnya lebih kecil dari *source film distance* minimal maka penempatan sumber dapat diletakkan

agak jauh dari permukaan tetapi diatur sedemikian rupa hingga dinding atas las tidak tergambar pada film, seperti yang ditunjukkan gambar 2.11.



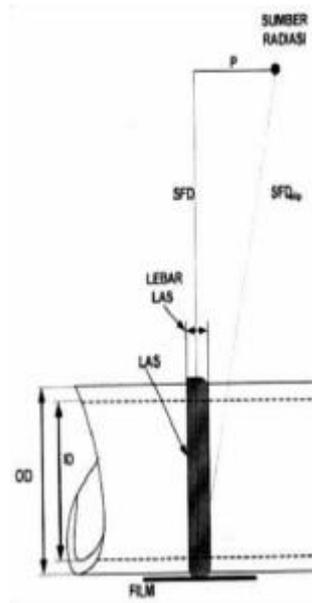
Gambar 2. 11 Non contact technique
(Sumber : (Kurniawan, 2017))

C. *Double Wall Double Viewing (DWDV)*

Benda uji dengan diameter luar yang kecil tidak mungkin diterapkan teknik *single wall single viewing* maupun *double wall single viewing*. Beberapa standar merekomendasikan teknik *double wall double viewing* diterapkan pada benda uji berupa Pipa dengan diameter kurang dari 100 mm. Teknik *double wall double viewing* merupakan teknik penyinaran dengan posisi sumber radiasi sedemikian rupa sehingga radiasi menembus kedua dinding benda uji dan pada film tergambar kedua dinding las tersebut untuk diinterpretasi. Teknik *double wall double viewing* meliputi (Kurniawan, 2017):

- *Ellips Technique*

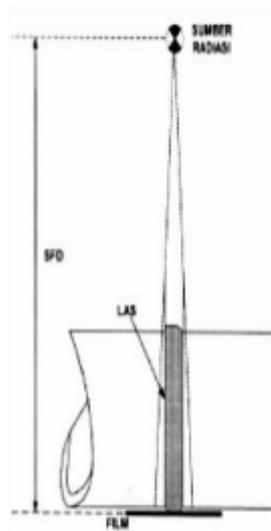
Teknik ini dilakukan dengan posisi sumber radiasi membentuk sudut tertentu terhadap bidang normal las sehingga gambar kedua bagian dinding benda uji berbentuk *ellips*, seperti yang ditunjukkan gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Ellips technique
(Sumber : (Kurniawan, 2017))

- *Superimposed Technique*

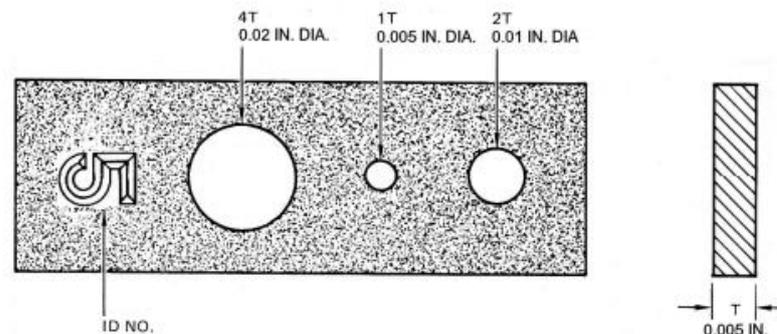
Sebagai alternatif bila teknik elips tidak dapat diterapkan maka teknik *double wall double viewing* dilakukan dengan meletakkan sumber tegak lurus terhadap benda uji sehingga gambar kedua dinding benda uji bertumpuk, seperti yang di tunjukkan Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Superimposed technique
(Sumber : (Kurniawan, 2017))

2.2.4. IQI (*Image Quality Indicator*) *Film Radiography*

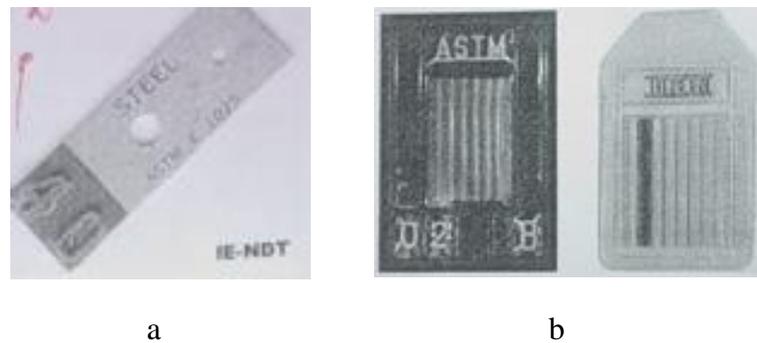
IQI (*Image Quality Indicator*) adalah sebuah alat yang citranya pada film *radiography* digunakan untuk menentukan tingkat kualitas (*sensitivitas*) film. IQI tidak dimaksudkan untuk menilai ukuran atau menetapkan batas keberterimaan diskontinuitas. Peletakan IQI diletakkan di atas specimen (sisi sumber) kecuali ada persyaratan tertentu, IQI harus selalu diletakkan pada sisi sumber dari specimen (Convair, 2013). Jika akses tidak memungkinkan untuk meletakkan IQI di sisi sumber maka IQI bisa diletakkan pada sisi film dan ditandai huruf “F” didekat IQI dan wire IQI harus diletakkan tegak lurus dengan alur las (ASME, 2019). IQI dibuat dari lembaran logam tipis yang memiliki komposisi sama dengan material uji untuk ketebalannya sebesar 2% dari tebal material uji. Ketebalan dan jenis material harus diberi identifikasi dengan menggunakan *lead number* atau nomor identifikasi yang disesuaikan dengan aplikasinya, identifikasi tersebut harus tampak pada film *radiography*. Pada gambar 2.14 merupakan sebuah contoh penggunaan IQI pada sebuah benda yang tebalnya 0.25 inchi yang mensyaratkan ketebalan penetrometer sebesar 2% tebal specimen. Angka 5 jika dibagi dalam 1000 (dalam inchi) menunjukkan ketebalan actual IQI sebesar 0.005 inchi (Division, 2011).



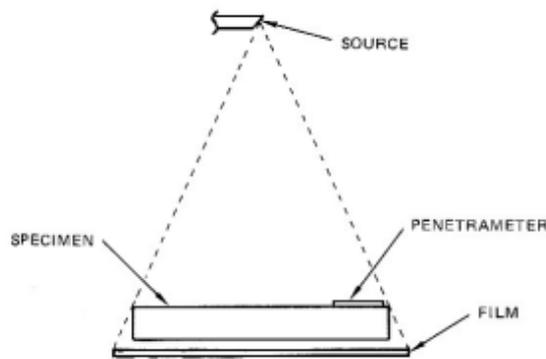
Gambar 2. 14 contoh penggunaan ketebalan IQI dengan ketebalan material 0.25 inchi
(Sumber : (Division, 2011))

IQI terdapat dua jenis yaitu *hole type* dan *wire type* (gambar 2.15) namun *hole type* paling umum digunakan di Amerika Serikat sedangkan *wire type* umum digunakan di Eropa yang terdiri dari berbagai diameter kawat dan diletakkan di atas specimen, diameter kawat terkecil yang tampak pada film *radiography*

merupakan indikasi sensitivitas gambar 2.16 menunjukkan contoh pemasangan IQI (Convair, 2013).



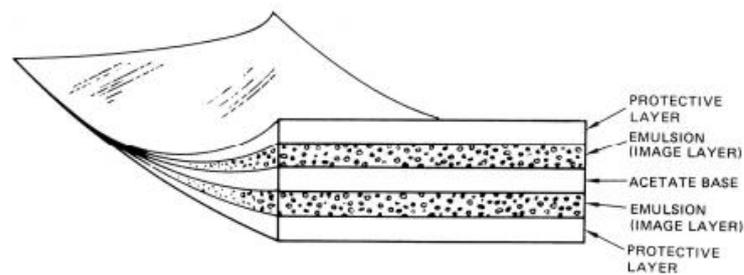
Gambar 2. 15 (a) hole type (b) wire type
(Sumber : (Convair, 2013))



Gambar 2. 16 Contoh peletakan IQI (Image Quality Indicator)
(Sumber : (Division, 2011))

2.2.5. Film Radiography

Salah satu alat yang digunakan dalam pengujian *radiography* adalah film. Film berfungsi untuk merekam gambar benda uji yang diperiksa. Bahan dasar film terbuat dari bahan sejenis plastik transparan yaitu *cellulosa acetat*, yang mempunyai sifat fleksibel, ringan, tidak mudah pecah dan tembus cahaya (Kurniawan, 2017). Kedua permukaannya dilapisi suatu emulsi yang mengandung persenyawaan *AgBr* (*perak bromida*) berukuran mikroskopis apabila terekspos cahaya atau radiasi akan menjadi terlihat dan mengubah film menjadi hitam (Convair, 2013), sedangkan untuk melindungi lapisan emulsi agar tidak cepat rusak maka di atasnya dilapisi lagi dengan gelatin (Kurniawan, 2017).



Gambar 2. 17 Penampang film radiography dan jenis bagiannya

(Sumber : (Convair, 2013))

2.2.6. Klasifikasi Jenis Film *Radiography*

Film *radiography* diklasifikasikan dengan cara mengkombinasikan faktor – faktor dan karakteristik film. Fokus film pada pembahasan kali ini adalah AGFA. Contoh klasifikasi film AGFA dapat dilihat pada Tabel 2.1 (Kurniawan, 2017).

Tabel 2. 1 Klasifikasi Jenis Film Radiography

Jenis Film	Faktor Paparan Relatif					Kelas ISO	Kelas DIN	Kelas ASTM
	100 kV	200 kV	Ir-192	Co-60	LINAC/8 MeV			
D2	10,6	8,7	9,0	10,0	10,0	G1	G1	Spesial
D3 sc	10,6	8,7	-	-	-	G1	G1	I
D3	4,1	4,2	5,0	5,1	5,1	G1	G1	I
D4	3,1	2,6	3,0	3,1	3,1	G1	G2	I
D5	1,8	1,6	1,5	1,5	1,5	GII	G2	I
D7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	GIII	G3	II
D8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	GIII	G4	II
D6R	2,0	1,7	1,7	1,7	1,3	GIII	-	II

sumber : (Mulya, 2017)

Setiap perusahaan film memproduksi berbagai macam jenis film yang dibedakan menjadi dua yaitu (Kurniawan, 2017):

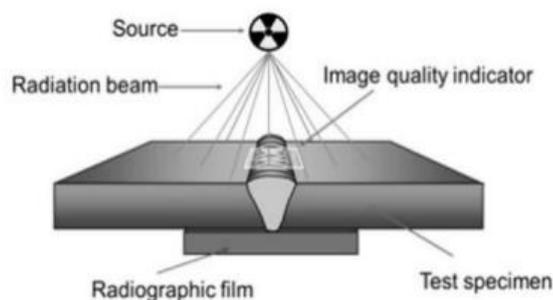
1. Film *screen fluorescent* yaitu film yang dalam penggunaannya memerlukan *screen pengintensif fluorescent* dan dapat menghasilkan film dengan penyinaran yang minimum.
2. Film langsung yaitu film yang dalam penggunaannya tidak memerlukan *screen* atau penyinaran menggunakan *screen* timbal.

2.2.7. Pemilihan Film *Radiography*

Pemilihan film untuk *radiography* tergantung pada beberapa faktor yang berbeda. Faktor tersebut harus dipertimbangkan saat memilih film dan mengembangkan teknik radiografi. Faktor – faktor tersebut dijelaskan sebagai berikut (Kurniawan, 2017):

1. Komposisi, bentuk, dan ukuran dari bagian yang akan diperiksa. Pada beberapa kasus dipertimbangkan pula berat dan lokasinya.
2. Tipe dari radiasi yang digunakan seperti sinar- γ dari sumber radioaktif atau sinar-x dari sistem pembangkit sinar-x.
3. Intensitas dari sumber radiasi sinar- γ atau tegangan yang tersedia dari sinar-x.
4. Tingkat detail dari gambar hasil radiografi dan ekonomi.

Pemilihan film untuk *radiography* pada benda uji terutama tergantung dari ketebakan dan jenis material yang diuji serta rentang intensitas sumber (Ci) yang tersedia pada sumber gamma-ray. Pemilihan film juga tergantung kepada kualitas *radiography* yang diinginkan dan waktu penyinaran. Jika kualitas *radiography* yang diinginkan berkualitas tinggi maka digunakan film lambat (film dengan butiran lebih halus) harus digunakan. Jika menginginkan waktu penyinaran yang pendek maka digunakan film cepat. Salah satu alat yang digunakan dalam pengujian *radiography* adalah film.

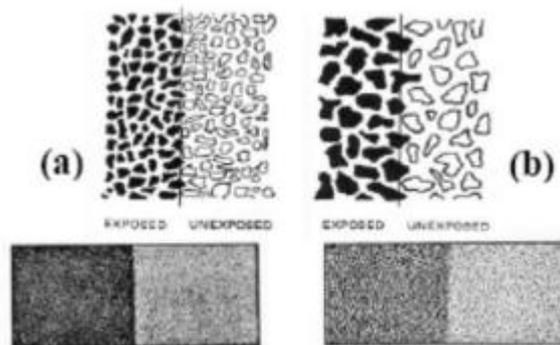


Gambar 2. 18 penyinaran menggunakan film radiography

(Sumber : (Convair, 2013))

Untuk detail butiran film dapat dilihat pada Gambar 2.19 dibawah ini. Butiran film mempengaruhi *definition film radiography* Film berbutir besar (film cepat)

seringkali dipakai untuk mengurangi waktu eksposur sedangkan film berbutir kecil (film lambat) menghasilkan definition terbaik.



Gambar 2. 19 struktur butiran film lambat (a) film cepat (b)
(Sumber : (Division, 2011))

2.2.8. Pemrosesan Film *Radiography*

Saat eksposur selesai dilakukan, selanjutnya film diproses sehingga citra laten yang dihasilkan oleh radiasi akan nampak. Pada dasarnya terdapat tiga larutan pemroses yang dipakai untuk mengubah suatu film yang telah terekspos menjadi film radiografi. Langkah-langkah pemrosesan film berdasarkan urutan larutan yang digunakan adalah sebagai berikut (Kurniawan, 2017) :

1. Developer

Developer adalah suatu larutan kombinasi zat kimia yang masing-masing memiliki fungsi penting. Salah satu zat kimianya adalah *reducer* yang terbuat dari metol atau *hydroquinone*. Fungsinya adalah untuk mereduksi butiran perak bromida yang terekspos menjadi logam perak berwarna hitam. Seluruh bagian film tidak berubah menjadi hitam karena *reducer* dapat membedakan antara butiran yang terekspos dengan yang tidak terekspos (Kurniawan, 2017). Densitas (tingkat kegelapan) ditentukan oleh jumlah butiran perak bromida yang direduksi oleh *developer*. Namun demikian, jika film dibiarkan terendam dalam larutan *developer* terlalu lama, *reducer* akan bereaksi dengan butiran yang tak terekspos dan terjadi pengakbutan sehingga waktu dan suhu adalah faktor penting di dalam proses *developer*.

Pada proses *developer* biasanya digunakan suhu 20°C dengan waktu celup antara 5 sampai 8 menit. Namun demikian hal tersebut harus selalu

diverifikasi dengan prosedur atau spesifikasi yang digunakan. jika suhu larutan dinaikkan, kecepatan penembusan larutan basa juga akan bertambah besar. Oleh karena itu sebuah film yang dideveloper pada suhu 20°C selama 6 menit akan lebih gelap daripada sebuah film yang dideveloper pada suhu 15.5°C dengan waktu yang sama.

2. *Stop Bath*

Apabila sebuah film dikeluarkan dari dalam larutan *developer* maka sejumlah kecil larutan basa akan tertinggal di film tersebut. Zat kimia yang digunakan di dalam *stop bath* biasanya adalah asam *asetat glacial* yang dapat mengakibatkan luka bakar. *Stop bath* memiliki dua fungsi yaitu (Division, 2011) :

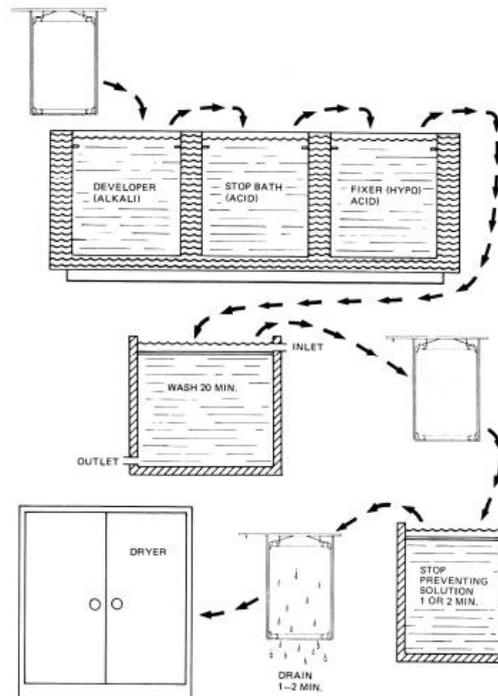
- Menghentikan aksi *developing* dengan cara menetralkan zat basa *developer* (basa dan asam saling menetralkan).
- Menetralkan zat basa *developer* sebelum film dimasukkan kedalam cairan *fixer* sehingga memperpanjang usia *fixer*.

3. *Fixer*

Fixer secara permanen mengefixkan citra pada film. Di dalam *developer*, butiran perak bromida direduksi menjadi logam perak. *Fixer* menghilangkan semua butiran perak yang tidak terekspos dari dalam film, adapun dalam proses *fixing* terdapat dua tahap yang terpisah yaitu (Division, 2011):

- Waktu pembersihan, proses ini menghilangkan semua butiran perak yang tak terekspos dan kabut pada film berangsur-angsur hilang. Namun demikian, waktu total film di dalam *fixer* sebaiknya dua kali waktu yang diperlukan untuk membersihkan film.
- Pengerasan, *fixer* juga mengeraskan emulsi gelatin yang membantu mencegah timbulnya goresan selama penanganan.

Setelah pemrosesan dengan zat kimia, film dicuci dan dikeringkan. Film tersebut kadang kala dicelupkan dalam suatu larutan untuk mencegah timbulnya bintik-bintik air. Larutan ini membuat air mudah membasahi film dan menghasilkan pengeringan merata.



Gambar 2. 20 tahapan proses pemrosesan film radiography
(Sumber : (Division, 2011))

2.3. Artefak Pada Film Radiography

Artefak adalah ketidaksempurnaan pada film berasal dari debu maupun kesalahan penanganan film akibat dari kurangnya kebersihan sehingga dapat mengakibatkan kesalahan dalam menganalisa *defect* pada suatu pengelasan. Ada banyak jenis *artefak* yang berbeda, beberapa diantaranya dapat disalahartikan dengan diskontinuitas actual. Berikut beberapa jenis *artefak* pada film *radiography* (Convair, 2013) :

2.3.1. Artefak yang terjadi sebelum pemrosesan

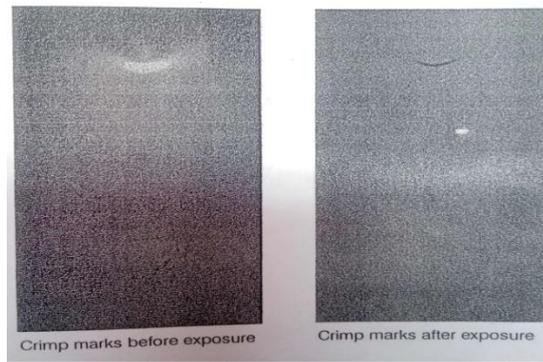
1. Goresan-Goresan Pada Film *Radiography*

Emulsi pada film *radiography* sangat *sensitive* dan goresan-goresan dapat diakibatkan oleh benda-benda abrasif, kuku, dan penanganan yang kasar selama *loading* dan *unloading*. Goresan pada film dapat diidentifikasi memakai pantulan cahaya yang membentuk sudut pada permukaan film.

2. *Crimp Marks*

Crimp Marks diakibatkan karena tekukan tajam pada film, biasanya pada *loading* dan *unloading* ke dalam kaset film. Jika film tertekuk sebelum

eksposur akan menghasilkan indikasi berbentuk sabit yang lebih terang densitasnya ketimbang densitas film di sekitarnya. Jika tertekuk sesudah eksposure akan dihasilkan indikasi yang lebih gelap ketimbang densitas film di sekitarnya.

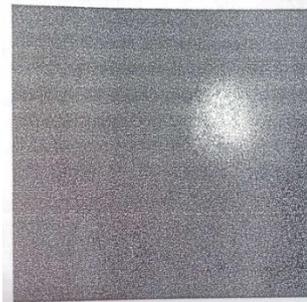


Gambar 2. 21 *artefak* crimp marks sebelum dan sesudah exposure

(Sumber : (Convair, 2013))

3. *Pressure Marks*

Pressure Marks diakibatkan oleh tekanan local berlebihan pada film, misalnya saat kaset film kejatuhan benda pada saat setup. Hal ini akan menghasilkan suatu *artefak* setelah film tersebut diproses.

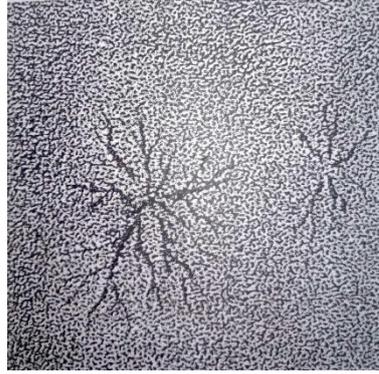


Gambar 2. 22 pressure mark caused before exposure, visible as low density

(Sumber : (Convair, 2013))

4. *Static Marks*

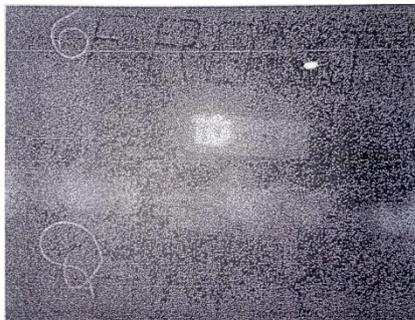
Muatan listrik statis dapat dihasilkan apabila *film radiography* ditangani secara kasar atau digerakkan secara cepat saat *loading* dan *unloading* dari kaset film. Tampilan *static marks* akan bervariasi dari bentuk seperti cabang garis gelap bergerigi hingga bintik-bintik gelap kasar yang tak beraturan.



Gambar 2. 23 static marks
(sumber : (Convair, 2013))

5. *Screen Marks*

Screen mark adalah noda pada film hasil radiografi yang terjadi karena screen pb tergores atau terlipat dan menghasilkan noda berwarna hitam. jika antara screen dengan film menempel benda asing seperti debu dan rambut akan menghasilkan noda berwarna putih. Untuk meminimumkan indikasi palsu dari screen, maka screen harus benar-benar bersih, halus bebas dari material pengotor.



Gambar 2. 24 sreen marks terdapat kata depan tergores pada permukaan layar yang berwarna gelap dan rambut yang ditempatkan di layar film yang tampak terang.

(sumber : (Convair, 2013))

6. *Fog*

Fog bentuknya merata, disebabkan karena film tersinari secara keseluruhan karena kebocoran cahaya dalam ruang gelap, tersinari oleh cahaya yang terlalu terang, penyimpanan film yang tidak tepat, film tersinari oleh panas,

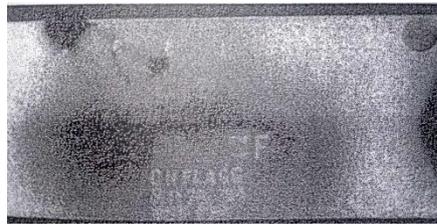
pengembangan yang berlebihan, developer terkontaminasi, dan tersinari oleh radiasi selama pemrosesan (Convair, 2013).

7. *Cap jari*

Cap jari biasanya mudah dikenali, muncul sebagai citra yang lebih gelap atau lebih terang pada film (Convair, 2013).

8. *Kebocoran Cahaya*

Eksposur terhadap cahaya biasanya menimbulkan penggelapan film.

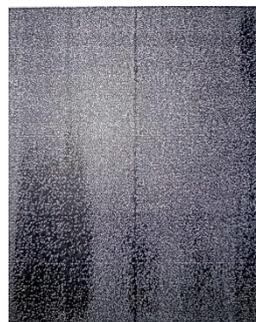


Gambar 2. 25 light leaks
(sumber : (Convair, 2013))

2.3.2. *Artefak yang terjadi selama pemrosesan*

1. *Chemical Streaks*

Saat pemrosesan manual, noda pada film dapat diakibatkan apabila zat kimia dari pemrosesan sebelumnya tidak dibersihkan dari hanger. Noda pada film juga dapat terjadi apabila film langsung dibilas dengan air tanpa mencelupkannya ke dalam larutan *stopbath*. Cairan *developer* yang terbawa ke dalam *fixer* juga dapat mengakibatkan kondisi noda yang menyeluruh, penyebab lainnya adalah agitasi hanger film yang kurang mencukupi saat *developing*.



Gambar 2. 26 Streaking yang disebabkan oleh gantungan film yang tidak dibersihkan dengan baik

(sumber : (Convair, 2013))

2. *Delay Streaks*

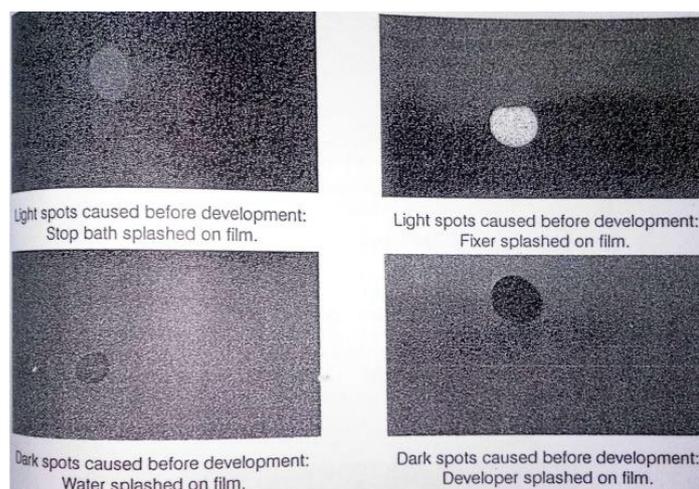
Merupakan noda yang tidak merata dalam arah pergerakan film melalui pemrosesan otomatis. Keterlambatan saat memasukkan film berikutnya dapat mengakibatkan keringnya larutan pada roller pemroses. Membersihkan roller memakai kain basah dapat menghilangkan masalah ini (Convair, 2013).

3. *Air Bells*

Air bells diakibatkan oleh gelembung udara yang menempel ke permukaan film pada saat dicelupkan ke dalam *developer*. *Air bells* mencegah *developer* kontak dengan permukaan film sehingga muncul citra bintik terang pada film. Jika hanger film diketuk-ketuk pada sisi tangki dengan benar, gelembung udara akan hilang (Convair, 2013).

4. *Spotting*

Jika larutan *fixer* mengenai film sebelum *developing*, muncul daerah atau bintik terang. Jika tetesan *developer* atau air mengenai film sebelum dimasukkan ke dalam tangki *developer* akan muncul bintik gelap. Bintik-bintik juga akan muncul apabila ada percikan air pada permukaan film. Selama proses pengeringan, titik air ini perlu waktu yang lama untuk proses pengeringan dan meninggalkan bentuk bundar pada permukaan film. Bintik air dapat dikurangi dengan pemakaian zat pembasah sebelum pengeringan.

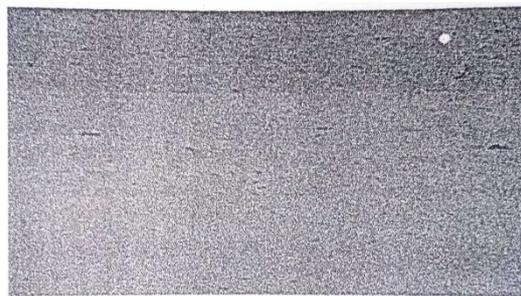


Gambar 2. 27 spotting karena cipratan stopbath, fixer, air dan developer pada film

(sumber : (Convair, 2013))

5. *Kotoran-Kotoran*

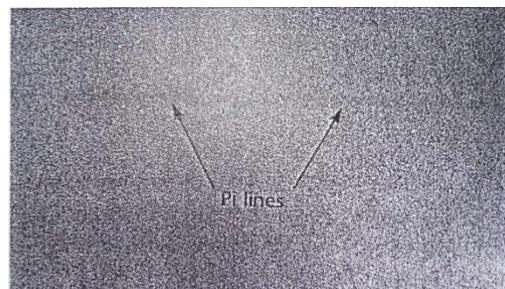
Jika kotoran mengumpul pada permukaan larutan *developer* atau *fixer* pola kotoran akan tampak jelas pada film, jika air pembilas tidak diganti secara teratur juga dapat mengakibatkan masalah serupa, terutama apabila air yang kotor masuk ke dalam tangki pembilas dan tanpa difilter. Kondisi tersebut dapat diverifikasi dengan mengamati permukaan film memakai cara pemantulan cahaya.



Gambar 2. 28 endapan permukaan yang disebabkan oleh air pencucian yang terkontaminasi dalam prosesor secara otomatis
(sumber : (Convair, 2013))

6. *Garis PI*

Garis ini muncul pada arah melintang film tegak lurus terhadap arah pengerolan apabila dipakai pemrosesan otomatis. Garis ini muncul secara teratur pada interval jarak 3,14 kali diameter roller. Kondisi ini diakibatkan adanya deposit zat kimia pada roller oleh ujung depan film.

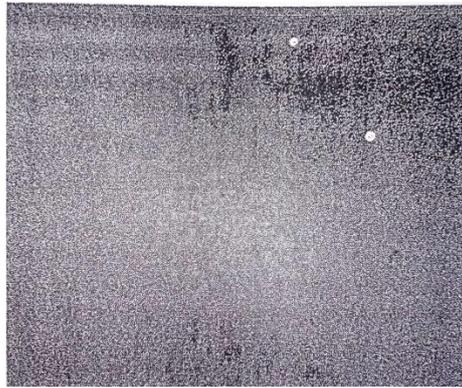


Gambar 2. 29 garis PI, dua garis yang muncul berulang kali pada interval 3,14 x diameter roller

(sumber : (Convair, 2013))

7. *Pressure Marks*

Pressure marks dapat diakibatkan oleh pengumpulan kotoran pada roller pada pemrosesan otomatis, atau akibat *clearance* yang kurang sesuai antar roller, roller harus dibersihkan dan diatur dengan benar untuk meminimumkan kondisi ini.



Gambar 2. 30 pressure marks disebabkan oleh benda asing pada roller atau jarak antar roller yang tidak sesuai
(sumber : (Convair, 2013))

8. *Kissing*

Film yang bersentuhan dengan film lainnya dalam tangki *developer* saat pemrosesan manual akan mengakibatkan noda yang tampak jelas di daerah sentuhan (Convair, 2013).

2.3.3. *Artefak yang terjadi setelah pemrosesan*

1. *Goresan-Goresan*

Goresan-goresan terjadi akibat penanganan yang kasar. Bahkan setelah pemrosesan emulsi pada film masih sensitive terhadap semua jenis abrasi dan harus diperhatikan untuk meminimumkan kerusakan pada emulsi film (Convair, 2013).

2. *Cap jari*

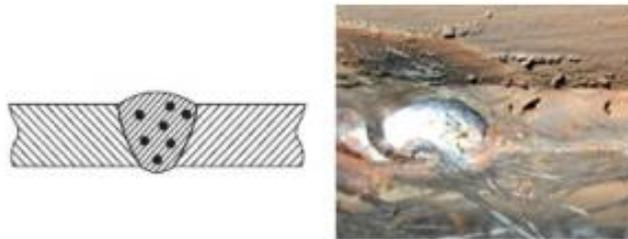
Cap jari terjadi apabila penanganan film kurang benar, yang dapat terjadi saat interpretasi. Film harus dipegang dengan benar pada ujung-ujung atau sisi-sisinya untuk mencegah timbulnya cap jari, *film radiography* harus dipegang memakai sarung tangan nilon atau katun.

2.4. Indikasi Diskontinuitas Dari Las-Lasan

Cacat las adalah suatu keadaan hasil pengelasan dimana terjadi penurunan kualitas dari hasil pengelasan. Kualitas hasil lasan yang dimaksud adalah berupa turunnya kekuatan dibandingkan dengan kekuatan bahan dasar *base metal*, tidak baiknya performa/tampilan dari suatu hasil las atau dapat juga berupa terlalu tingginya kekuatan hasil lasan sehingga tidak sesuai dengan tuntutan kekuatan suatu konstruksi (Wajdi, 2015).

2.4.1. Porosity

Porositas merupakan rongga yang diakibatkan oleh gas yang terperangkap saat logam las membeku. Biasanya porositas berbentuk bulat, tapi bisa juga memanjang. Pada beberapa kasus porositas memiliki ekor sebagai akibat dari gas yang berusaha keluar saat logam las masih dalam kondisi cair (Division, 2011).



Gambar 2. 31 Cacat Las Porosity

sumber : (Wajdi, 2015)

2.4.2. Slag Inclusion

Slag inclusion dapat terjadi akibat pembersihan (cleaning) area hasil pengelasan yang kurang bersih, sehingga flux penutup hasil pengelasan masih menempel dibagian atas hasil las. Hal ini juga dapat diakibatkan penggunaan flux pada pengelasan yang berlapis (Wajdi, 2015).

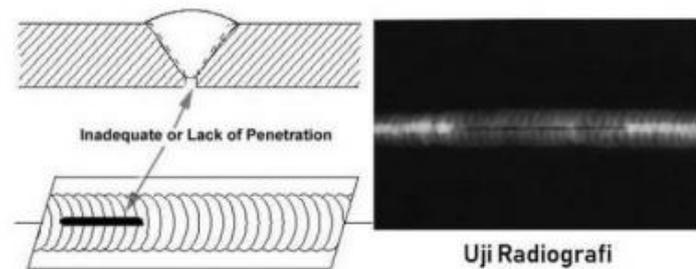


Gambar 2. 32 Cacat Las Slag Inclusion

sumber : (Wajdi, 2015)

2.4.3. Incomplete Penetration

IP diakibatkan oleh ampere yang kurang besar saat mendeposisikan root pass. Selain itu IP juga dapat diakibatkan oleh desain sambungan yang salah atau masalah pada prosedur pengelasan. IP dianggap lebih kritis ketimbang porositas atau diskontinuitas slag karena IP dapat mengakibatkan peningkatan tegangan.

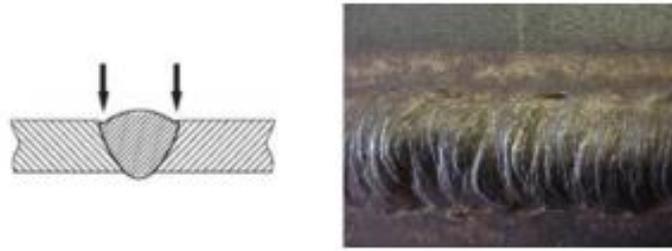


Gambar 2. 33 Cacat Las Incomplete Penetration (IP)

Sumber : (Division, 2011)

2.4.4. Undercut

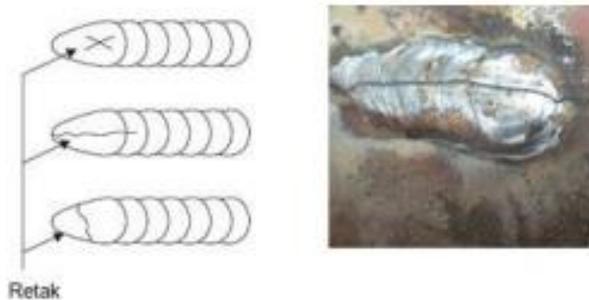
Undercut, merupakan benda kerja yang mencair dan terletak pada tepi/kaki lasan (manik-manik las) di mana alur benda kerja yang mencair tersebut tidak terisi oleh cairan las. Undercut menyebabkan slag terjebak di dalam alur yang tidak terisi oleh cairan las. Cacat ini dapat diakibatkan oleh beberapa hal yaitu *ampere/voltage* yang berlebihan, kecepatan pengelasan, sudut kawat las yang kurang benar dan *capping* yang berlebihan (Wajdi, 2015).



Gambar 2. 34 Cacat Las Undercut
Sumber : (Wajdi, 2015)

2.4.5. Crack

Crack merupakan cacat yang diakibatkan oleh terlalu besarnya jarak (gap) yang akan di las, tekanan arus yang terlalu kuat, bahkan material yang kotor terus dilakukanya Crack merupakan cacat yang diakibatkan oleh terlalu besarnya jarak (gap) yang akan di las, tekanan arus yang terlalu kuat, bahkan material yang kotor terus dilakukanya (Wajdi, 2015).



Gambar 2. 35 Cacat Las Crack
sumber : (Wajdi, 2015)

2.5. Kualitas

2.5.1. Pengertian Kualitas

Terdapat banyak defenisi kualitas, sebenarnya defenisinya hampir sama dengan defenisi lainnya :

- 1) Juran (1992) "*Kualitas adalah kesesuaian dengan tujuan dan manfaatnya*". Fitur produk adalah salah satu dari defenisi tersebut, di mata pelanggan semakin baik fitur produk semakin tinggi kualitasnya sedangkan kebebasan dari kekurangan adalah defenisi utama dari kualitas, di mata pelanggan semakin sedikit kekurangan, semakin baik kualitasnya (Juran, 1992).

- 2) Crosby (1992) *“kualitas adalah kesesuaian dengan kebutuhan yang meliputi availability, delivery, reliability, maintainability, dan cost affectiveness”*. Kualitas harus didefinisikan secara terukur dan dinyatakan dengan jelas untuk membantu organisasi mengambil tindakan berdasarkan target yang nyata, bukan pada sekelompok, pengalaman, atau opini (Crosby & Deming, 1992).
- 3) Deming (1992) *“kualitas harus bertujuan memenuhi kebutuhan pelanggan sekarang dan di masa mendatang”*. Ia menilai bahwa kualitas suatu produk atau layanan hanya dapat didefinisikan oleh pelanggan. Kualitas adalah istilah relative yang akan berubah maknanya tergantung pada kebutuhan pelanggan. Defenisi pada produk dapat menghasilkan tingkat keseragaman yang dapat diprediksi akibat berkurangnya variasi, biaya yang lebih rendah dan kesesuaian (Crosby & Deming, 1992).
- 4) SNI ISO (9001) *“efektifitas sistem manajemen mutu, untuk meningkatkan kepuasan pelanggan dengan memenuhi persyaratan pelanggan”*. (ISO, Sistem Manajemen Mutu (ISO 9001) - Persyaratan, 2015)
- 5) ISO 8402 (SNI 19-8402-1994) *“kualitas adalah keseluruhan karakteristik produk atau jasa yang kemampuannya dapat memuaskan kebutuhan, baik yang dinyatakan secara tegas maupun tersamar”*. Istilah kebutuhan diartikan sebagai spesifikasi yang tercantum dalam kontrak maupun kriteria-kriteria yang harus didefinisikan terlebih dahulu (ISO, Quality Management and Quality Assurance-Vocabulary, 1994).

Sehingga kita dapat mendefinisikan kualitas adalah kesesuaian antara karakteristik berdasarkan tujuan dan manfaat untuk dapat meningkatkan kepuasan pelanggan.

2.5.2. Dimensi Kualitas

Dalam kaitannya dengan produk terdapat tujuh dimensi kualitas produk yaitu (Meithiana, 2019) :

1. Kinerja (*performance*)
Berhubungan dengan karakteristik operasi dasar dari sebuah produk.
2. Keistimewaan (*features*)

Karakteristik produk yang dirancang untuk menyempurnakan fungsi produk atau menambah ketertarikan konsumen terhadap produk

3. Keandalan (*reliability*)

Probabilitas bahwa produk akan bekerja dengan memuaskan atau tidak dalam periode waktu tertentu. Semakin kecil kemungkinan terjadinya kerusakan maka produk tersebut dapat diandalkan.

4. Kesesuaian dengan spesifikasi (*conformance to specification*)

Sejauh mana karakteristik operasi dasar dari sebuah produk memenuhi spesifikasi tertentu dari konsumen atau tidak ditemukannya cacat pada produk.

5. *Durability* (Daya tahan)

Berarti berapa lama atau umur produk yang bersangkutan bertahan sebelum produk tersebut harus diganti. Semakin besar frekuensi pemakaian konsumen terhadap produk maka semakin besar pula daya tahan produk

6. Estetika (*esthetics*)

Berhubungan dengan bagaimana penampilan produk bisa dilihat dari tampak, rasa, bau, dan bentuk dari produk.

7. Kesan kualitas (*perceived quality*)

sering dibilang merupakan hasil dari penggunaan pengukuran yang dilakukan secara tidak langsung karena terdapat kemungkinan bahwa konsumen tidak mengerti atau kekurangan informasi atas produk yang bersangkutan. Jadi, persepsi konsumen terhadap produk didapat dari harga, merek, periklanan, reputasi, dan negara asal.

2.5.3. Faktor Yang Mempengaruhi Kualitas

Kualitas produk secara langsung dipengaruhi oleh sembilan bidang dasar atau 9M. Pada masa sekarang ada sejumlah besar kondisi yang membebani produksi melalui cara-cara yang tidak pernah terjadi dalam periode sebelumnya (Assauri, 2009).

1. Pasar (*market*)

Jumlah produk baru dan baik yang ditawarkan di pasar terus berkembang dengan laju yang eksplosif. Konsumen diarahkan untuk mempercayai bahwa ada produk baru yang dapat memenuhi hampir setiap kebutuhan. Pada masa

sekarang konsumen dapat memperoleh produk yang lebih baik yang dapat memenuhi kebutuhan mereka. Pasar menjadi lebih besar ruang lingkungannya dan secara fungsional lebih terspesialisasi dalam barang yang ditawarkan. Dengan bertambahnya perusahaan, pasar menjadi bersifat internasional dan mendunia. Akhirnya bisnis harus lebih fleksibel dan mampu berubah arah dengan cepat.

2. Uang (*money*)

Meningkatnya persaingan dalam banyak bidang industri bersamaan dengan fluktuasi ekonomi dunia, telah menurunkan batas (marjin) laba. Pada waktu yang bersamaan, kebutuhan akan otomasi dan mekanisasi mendorong pengeluaran yang besar untuk proses dan perlengkapan yang baru. Penambahan investasi pabrik, harus dibayar melalui naiknya produktivitas menimbulkan kerugian yang besar dalam berproduksi disebabkan oleh produk cacat dan pengulangan kerja yang sangat mahal. Kenyataan ini memfokuskan perhatian para manajer pada bidang biaya kualitas untuk mengatasi biaya operasi, meminimalkan kerugian, dan memperbaiki laba.

3. Manajemen (*management*)

Tanggung jawab kualitas telah didistribusikan antara beberapa kelompok khusus. Sekarang bagian pemasaran melalui fungsi perencanaan produknya, harus membuat persyaratan produk. Bagian perancangan bertanggung jawab merancang produk yang akan memenuhi persyaratan tersebut. Bagian produksi mengembangkan dan memperbaiki kembali proses untuk memberikan kemampuan yang cukup dalam membuat produk sesuai dengan spesifikasi rancangan. Bagian pengendalian kualitas merencanakan pengukuran kualitas pada seluruh aliran proses yang menjamin bahwa hasil akhir memenuhi persyaratan kualitas produk atau pelayanan, setelah produk sampai pada konsumen dan menjadi bagian yang penting dari paket produk akhir. Hal ini telah menambah beban manajemen puncak, khususnya bertambahnya kesulitan dalam mengalokasikan tanggung jawab yang tepat untuk melakukan koreksi terhadap penyimpangan dari standar kualitas.

4. Manusia (*man*)

Pertumbuhan yang cepat dalam pengetahuan teknis dan pengembangan bidangbidang baru seperti elektronika komputer menciptakan suatu permintaan yang besar akan pekerjaan dengan pengetahuan khusus. Pada waktu yang sama situasi ini menciptakan permintaan akan ahli teknik sistem yang akan mengajak semua bidang spesialisasi untuk bersama merencanakan, menciptakan dan mengoperasikan berbagai sistem yang akan menjamin suatu hasil yang diinginkan.

5. Motivasi (*motivation*)

Penelitian tentang motivasi manusia menunjukkan bahwa sebagai hadiah tambahan selain uang, para pekerja masa kini juga memerlukan sesuatu yang memperkuat rasa keberhasilan di dalam pekerjaan mereka dan pengakuan bahwa mereka secara pribadi memberikan sumbangan untuk tercapainya tujuan perusahaan. Hal ini membimbing ke arah kebutuhan yang tidak ada sebelumnya yaitu pendidikan kualitas dan komunikasi yang lebih baik tentang kesadaran untuk bekerja sesuai standar.

6. Bahan (*material*)

Disebabkan oleh biaya produksi dan persyaratan kualitas, para ahli teknik memilih bahan dengan batasan yang lebih baik daripada sebelumnya. Akibatnya spesifikasi bahan menjadi lebih ketat dan keanekaragaman bahan menjadi lebih besar. Namun bahan yang berkualitaslah yang diperlukan dalam proses produksi, karena barang atau material berkualitas rendah akan menghasilkan hasil produksi yang inferior atau di bawah standar.

7. Mesin dan mekanisasi (*machine and mechanization*)

Permintaan perusahaan untuk mencapai penurunan biaya dan volume produksi untuk memuaskan pelanggan telah mendorong penggunaan perlengkapan pabrik yang lebih rumit dan bergantung pada kualitas bahan yang diproses oleh mesin tersebut. Kualitas yang baik menjadi faktor yang kritis dalam memelihara waktu kerja mesin agar fasilitasnya dapat digunakan sepenuhnya.

8. Metode informasi mutakhir (*modern information method*)

Evolusi teknologi komputer membuka kemungkinan untuk mengumpulkan, menyimpan, mengambil kembali, memanipulasi informasi

pada skala yang tidak terbayangkan sebelumnya. Teknologi informasi yang baru ini menyediakan cara untuk mengendalikan mesin dan proses selama kegiatan produksi dan mengendalikan produk bahkan setelah produk sampai ke konsumen. Metode pemrosesan data yang baru dan konstan memberikan kemampuan untuk mengatur informasi yang bermanfaat, akurat, tepat waktu dan bersifat ramalan mendasari keputusan yang membimbing masa depan bisnis.

9. Persyaratan proses produksi (*mounting product requirement*)

Kemajuan yang pesat dalam perancangan produk, memerlukan pengendalian yang lebih ketat pada seluruh proses pembuatan produk. Meningkatnya persyaratan persepsi yang lebih tinggi bagi produk menekankan pentingnya keamanan dan keterandalan produk.

2.5.4. Konsep Trilogi Kualitas

A. *Quality Planning (QP)*

Dalam sebuah manajemen kualitas, perencanaan sebuah kualitas dalam sebuah proses produksi, desain produk, pelayanan, atau proses berkaitan dengan *customer*, merupakan hal terpenting sebelum sebuah produk tersebut diluncurkan. Beberapa tahap yang dilakukan dalam perencanaan sebuah kualitas adalah sebagai berikut (Juran, 1992) pg.3.3.

1. Menentukan proyek yang akan dikerjakan.
2. Mengidentifikasi pelanggan dan target pasar.
3. Mengetahui kebutuhan dan keinginan pelanggan.
4. Menerjemahkan kebutuhan pelanggan menjadi produk atau ketentuan-ketentuan pelayanan, akan tetapi tetap dikaitkan kepada standar-standar baku, spesifikasi teknis, dll.
5. Mengembangkan pelayanan dari produk tersebut dapat melebihi kebutuhan pelanggan.
6. Mengembangkan proses-proses dapat memberikan pelayanan, pembuatan produk dalam cara yang paling efisien.
7. Mentransfer desain kepada organisasi terkait agar proses tersebut dapat berjalan.

Pada tahapan *quality planning* dilakukan penerjemahan kebutuhan pelanggan menjadi sebuah *requirement* yang berujung kepada spesifikasi diinginkan. Pada proses awal ini terjadi berbagai kesepakatan-kesepakatan antara pihak perencana dengan pihak pelanggan mengenai spesifikasi akan dilakukan untuk meminimalisir kegagalan akibat dari kesalahan desain atau kesalahan pemesanan material.

B. *Quality Assurance (QA)*

Semakin kompleks suatu proyek dan semakin tinggi teknologi digunakan, menuntut pula proses pelaksanaan makin kompleks. Konsep-konsep pengendalian mutu konvensional biasa dilakukan secara menyatu dalam perencanaan, sudah dianggap kurang relevan, sehingga diperlukan langkah-langkah sistematis untuk menjamin bahwa produk yang dihasilkan sesuai dengan kesepakatan spesifikasi kemudian dikenal sebagai *quality assurance (QA)*.

Quality Assurance (QA) adalah suatu program mencakup kegiatan-kegiatan diperlukan untuk memberikan kualitas di dalam pekerjaan guna memenuhi persyaratan proyek (Arditi, 1999). Tahapan dilakukan dalam *Quality Assurance* adalah (Juran, 1992) :

1. *Visual inspection* prosedur proyek yaitu suatu tahap-tahap kegiatan untuk menyelesaikan suatu aktivitas proyek sehingga tercapai tujuan proyek.
2. Periksa isi dokumen kontrak dan spesifikasi tekniknya kemudian susun kriteria rencana kerja, proses kerja, dan hasil kerja.
3. Prosedur pemeriksaan proyek yang berisi antara lain gambar-gambar kerja, spesifikasi, dan laporan pemeriksaan terhadap kegiatan.
4. Pemeriksaan secara menyeluruh dan terpadu terhadap dokumen yang diperlukan untuk penyerahan akhir, dengan tujuan menyelaraskan koordinasi hasil kerja pelaksanaan dan menghindari terjadinya konflik/pertentangan isi dokumen.
5. Hal-hal diperhatikan sebelum dokumen didistribusikan adalah diperiksa terlebih dahulu oleh manajer proyek sebelum diserahkan ke pemilik proyek.

C. *Quality Control (QC)*

Pengendalian mutu (*Quality Control*) adalah implementasi khusus dari program penjamin mutu dan kegiatan terkait. Pengendalian mutu/kualitas efisien mengurangi kemungkinan perubahan-perubahan, kesalahan dan kelalaian, selanjutnya menimbulkan sedikit perselisihan. Pengendalian mutu diperlukan untuk mengetahui tahap-tahap pelaksanaan proyek, sehingga terpenuhinya atau tidak terpenuhinya persyaratan atau spesifikasi akan terlihat. Beberapa pengembangan dari *Quality Control* (Juran, 1992) :

1. Menyediakan sarana inspeksi rutin dan konsisten untuk menjamin keintegritasan data, perbaikan-perbaikan, dan kelengkapan-kelengkapan lainnya.
2. Mengidentifikasi dan memindahkan kerusakan dan keterbatasan.
3. Mendokumentasikan dan menerima persediaan material dan merekam seluruh aktivitas *controlling*.

Aktivitas QC terdiri dari metode-metode umum seperti keakuratan pengecekan berbasis data dan informasi digunakan untuk penerimaan prosedur-prosedur standar. Ketika biaya penjagaan kualitas semakin tinggi, maka ini dapat dijadikan sebagai reaksi pemicu disebut sebagai *troubleshooting*, atau tindakan koreksi terintegrasi dengan pengontrolan kualitas. Pengontrolan terdiri atas tiga elemen yaitu pengukuran proses, membandingkan *performance actual* dengan standar-standar pengukuran dan bertindak berdasarkan adanya perbedaan (Juran, 1992).

2.5.5. Kategori Mutu Hasil Uji Radiografi

Kategori mutu hasil uji radiografi kita kategorikan baik maupun buruk berdasarkan tabel dibawah ini :

Tabel 2. 2 Kategori Mutu Hasil Uji Radiografi

	DPMO	Level Sigma
Sangat baik	6210 - 600	4.00 - 6.00
Baik	308.538 - 6210	2.00 - 4.00
Buruk	933.193 - 308.538	0.00 - 2.00

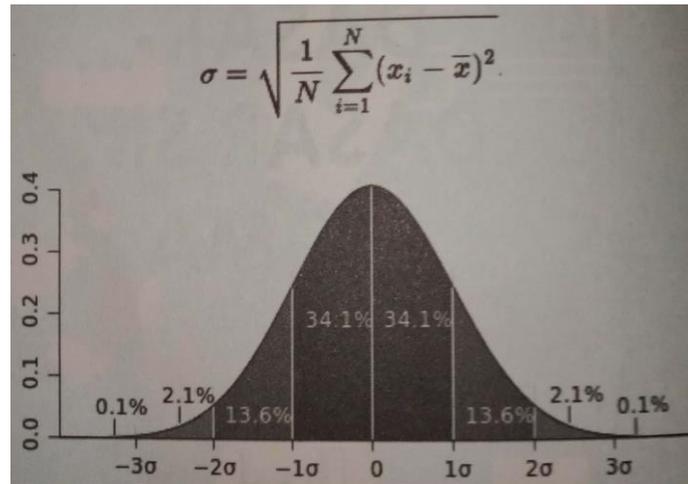
Sumber : nilai-nilai dibandingkan menggunakan program oleh : Vincent Gaspersz,(2002)

Tabel 2.2 diatas dapat dikategorikan baik atau buruknya berdasarkan nilai maximum dan minimum dari DPMO (*Defect Per Million Opportunity*) dan level sigma pada tabel konversi *six sigma* (Lampiran 8)

2.6. Pengertian *Six Sigma*

Bill Smith, seorang insinyur Motorola, mengembangkan program Six Sigma pada tahun 1986 sebagai tanggapan terhadap kebutuhan untuk meningkatkan kualitas dan mengurangi cacat pada produk mereka. Sang CEO, Bob Galvin, terkesan dengan keberhasilan awal, dan di bawah kepemimpinannya, Motorola mulai menerapkan Six Sigma di seluruh organisasi, dengan fokus pada proses dan sistem manufaktur. Motorola menetapkan Six Sigma sebagai tujuan perusahaan dan sebagai titik focus untuk upaya peningkatan kualitas proses dan produk. Konsep Six Sigma sangat luar biasa sukses di Motorola. Diperkirakan bahwa mereka mengurangi cacat pada perangkat semikonduktor sebesar 94% antara tahun 1987 dan 1993. Dalam beberapa tahun terakhir, Six Sigma telah menyebar di luar Motorola dan telah menjadi program untuk meningkatkan kinerja bisnis perusahaan dengan meningkatkan kualitas, mengurangi biaya dan memperluas pasar untuk produk dan layanan. Six Sigma, dalam beberapa bentuk, juga telah digunakan oleh ribuan perusahaan baik besar maupun kecil (Montgomery & dkk, 2008).

Six Sigma adalah implementasi ketat, terfokus, dan sangat efektif untuk pembuktian kualitas dan teknik. Dengan menggabungkan elemen-elemen dari karya para pakar kualitas, Six Sigma bertujuan untuk mencapai kinerja bisnis bebas dari kesalahan. (Pyzdek & dkk, 2014). Istilah “sigma” merupakan huruf Yunani σ digunakan untuk besaran deviasi standar (*standard deviation*) atau simpangan baku pada ilmu statistik. Deviasi standar dapat didefinisikan sebagai rata-rata perbedaan nilai sampel terhadap nilai rata-rata data, secara tidak langsung deviasi standar menggambarkan besarnya keragaman sampel hasil pengukuran. Semakin besar nilai deviasi standar didapatkan, semakin besar pula keragaman sampel, demikian pula sebaliknya. Rumus baku untuk deviasi standar sebagai berikut (Soemohadiwidjojo, 2017) :



Gambar 2. 36 Kurva Lonceng Six Sigma

(sumber : (Soemohadiwidjojo, 2017))

Dalam kurva statistik pada gambar 2.31 di atas terlihat bahwa nilai 1- σ (1-sigma) menunjukkan bahwa pengukuran memiliki deviasi standar 34,1% dari nilai target diinginkan, berarti terdapat $(100 - 2 \times 34,1) \%$ data menyimpang dari nilai target. Sedangkan nilai 2- σ (2 - sigma) menunjukkan bahwa pengukuran memiliki deviasi standar 95,4% dari nilai target diinginkan, dan nilai 3- σ (3 - sigma) menunjukkan bahwa pengukuran memiliki deviasi standar 99,7% dari nilai target diinginkan. Adapun nilai 6 - sigma menunjukkan bahwa pengukuran memiliki deviasi standar 99,9997% dari nilai target diinginkan.

Prinsip dasar *six sigma* adalah perbaikan produk dengan melakukan perbaikan pada proses sehingga proses tersebut menghasilkan produk sempurna. *Project-project six sigma* berorientasi pada kinerja jangka panjang melalui peningkatan mutu untuk mengurangi jumlah kesalahan, dengan sasaran target kegagalan nol (*zero defect*) pada kapabilitas proses sama dengan atau lebih dari 6-sigma dalam pengukuran standar deviasi. Untuk level 6-sigma, dengan deviasi standar 99,9997% dari nilai target diinginkan, maka peluang kegagalan atau produk cacat (*defect*) setara dengan 3,4 *defect* dari satu juta peluang.

Pendekatan *six sigma* digunakan untuk mengidentifikasi hal-hal berkaitan dengan penanganan *error* dan pengerjaan ulang produk akan menghabiskan biaya, waktu, mengurangi peluang mendapatkan pendapatan dan mengurangi kepercayaan pelanggan. Bagi perusahaan memiliki produk fisik, hasil penerapan

metode *six sigma* untuk mengurangi kesalahan atau cacat produksi dapat langsung terlihat. Namun beda halnya dengan bisnis jasa, karena sifat produknya *intangible*, maka penerapan metode *six sigma* tidak sesederhana seperti bisnis yang memiliki produk fisik. Oleh karena itu, defenisi dari *defect* kemudian didefenisikan sebagai segala keluaran (*output*) tidak sesuai dengan kebutuhan dan keinginan pelanggan (Soemohadiwidjojo, 2017).

2.6.1. Sejarah *six sigma*

Metode ini pertama kali dikembangkan oleh William B. Smith, Jr. dan Dr. Mikel J. Harry dari Motorola pada 1981, ketika Bob Galvin menjabat sebagai CEO Motorola. Metode ini diluncurkan pada 1987 sebagai program peningkatan kualitas dengan target kinerja perusahaan memiliki kualitas setara 6-sigma pada 1992. Pada 1988, Motorola memenangkan penghargaan *Malcolm Baldrige National Quality Award*. *Six sigma* menjadi terenal ke seluruh dunia sejak Jack Welch menggunakan metode ini untuk mengembangkan strategi bisnis di General Electric pada 1995. Saat ini *Six Sigma* telah diterapkan diberbagai perusahaan terkemuka dan telah memeberikan hasil yang signifikan dalam peningkatan kinerja perusahaan.

2.6.2. Aspek Kunci Dalam Implementasi Six Sigma

Dalam mengaplikasikan konsep *six sigma* ke dalam organisai, terdapat 6 aspek kunci yang perlu diperhatikan sebagai berikut (Soemohadiwidjojo, 2017) :

1. Identifikasi pelanggan.
2. Identifikasi produk atau jasa.
3. Identifikasi kebutuhan dalam memproduksi produk/jasa untuk pelanggan.
4. Defenisikan proses.
5. Hindari kesalahan dalam proses dan hilangkan semua pemborosan yang ada.
6. Tingkatkan kinerja proses secara terus menerus menuju target *six sigma*

2.6.3. Tahap Tahap Implementasi

Penerapan *project-project six sigma* untuk meningkatkan kinerja organisasi eksisting dilaksanakan dengan menerapkan siklus 5 fasa yang disebut DMAIC.

DMAIC adalah siklus peningkatan kinerja proses yang didasarkan atas data yang terkumpul (Soemohadiwidjojo, 2017).

1. Menetapkan (*Define*)

Menetapkan sistem, menangkap suara pelanggan serta keinginan pelanggan, dan menetapkan sasaran yang ingin dicapai secara spesifik. Dalam langkah ini, hal-hal yang dilakukan adalah :

A. Mengidentifikasi Permasalahan

Dalam mengidentifikasi dan memformulasikan permasalahan yang dihadapi tidak bisa dilakukan secara asal-asalan. pernyataan masalah dapat disusun dengan mengikuti struktur rumus 5W + 1H. Pernyataan masalah disarankan untuk memuat hal-hal berikut :

- Deskripsi tentang isu, *gap*, atau peluang.
- Tingkat keparahan permasalahan dan ukuran peluang perbaikan.
- Hal-hal spesifik terkait permasalahan.

Di sisi lain, pernyataan masalah tidak boleh memuat hal-hal berikut:

- Deskripsi tentang penyebab permasalahan.
- Pernyataan yang menyalahkan satu pihak atau menyatakan pihak yang bertanggung jawab terhadap permasalahan.
- Prasangka terhadap hasil atau desain.
- Penyelesaian atau solusi yang sudah ditentukan sebelumnya.

B. Pemetaan Proses Bisnis

Proses bisnis adalah dokumen yang menerjemahkan peran masing-masing unit kerja dan hubungan antar unit kerja dalam melaksanakan kegiatan operasional organisasi. proses bisnis dapat didefinisikan sebagai kumpulan aktivitas atau proses yang terstruktur dan saling berhubungan di dalam organisasi untuk mengelola sumber daya dalam rangka mencapai sebuah tujuan yang menciptakan nilai tambah bagi organisasi. Tiga komponen utama dari proses bisnis sebagai berikut :

- Tujuan yang ingin dicapai atau *output* yang akan dihasilkan.
- Sistem aktivitas sesuai lingkup organisasi yang dilakukan untuk mencapai tujuan organisasi.

- Sumber daya yang dikelola, termasuk diantaranya dana, material, energy, waktu, tenaga kerja, fasilitas, peralatan, dll.

Dalam *six sigma*, pemetaan proses bisnis digunakan untuk mendapatkan “gambar besar” (*big picture*) yang lebih fokus dari proses-proses yang berlangsung dalam organisasi sehingga dapat didefinisikan proses-proses inti dalam organisasi.

C. Identifikasi Proses Inti Dan Proses Pendukung

Berdasarkan lingkup aktivitasnya, proses bisnis organisasi dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu proses inti (*core process*) dan proses pendukung (*supporting process*). Proses inti adalah proses-proses esensial yang berhubungan langsung dengan penyampaian produk dan jasa kepada para pelanggan eksternal organisasi. Sedangkan proses pendukung adalah proses-proses yang tidak langsung berhubungan dengan produk dan pelanggan eksternal, melainkan melayani pelanggan internal organisasi.

D. *Voice Of Customer (VOC)*

Voice of customer adalah pernyataan suara pelanggan yang berisi harapan, preferensi atau komentar terhadap suatu produk atau jasa. Sangat penting bagi organisasi untuk mengenali siapa pelanggannya dan dapat memahami apa yang diinginkan pelanggan. Tanpa mengetahui siapa pelanggan dari aktivitas organisasi dan apa keinginan pelanggan, akan sangat sulit untuk memperbaiki kinerja proses dalam rangka memenuhi apa yang diinginkan pelanggan. Untuk mendapatkan *voice of customer (VOC)* terdapat dua metode yang digunakan yaitu :

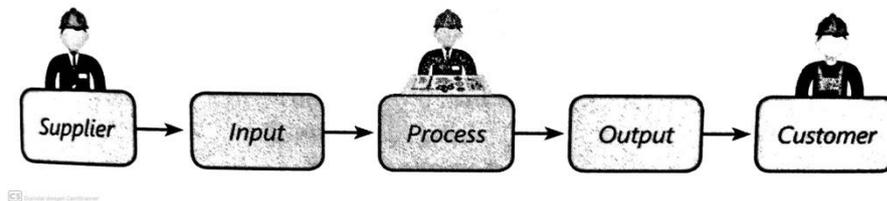
- Metode langsung meliputi : survey, wawancara langsung atau melalui telpon dan *focus grup discussion*.
- Metode tidak langsung meliputi : riset pasar atau analisis competitor, sistem penanganan keluhan pelanggan, program *loyalty* (kesetiaan), audit pelanggan atau *supplier*, dan observasi di lapangan.

E. Pembuatan Peta Proses Inti

Menentukan *output* proses kunci dari proses inti. Setiap *output* proses kunci kemudian diidentifikasi siapa pelanggan kunci yang menerima

output tersebut. Pembuatan peta proses inti dapat mengikuti analisis SIPOC sebagai berikut :

- *Supplier*, orang atau kelompok yang memberikan informasi, bahan baku, atau sumber daya lainnya ke dalam proses.
- *Input*, sesuatu yang menjadi masukan proses.
- *Process*, sekumpulan langkah yang mengolah *input* dan menambahkan nilai pada *input*.
- *Output*, hasil dari proses (produk) atau proses final.
- *Customer*, orang atau kelompok atau proses yang menerima *output*.



Gambar 2. 37 Ilustrasi SIPOC
(Sumber : (Soemohadiwidjojo, 2017))

Langkah-langkah yang dilakukan untuk analisis SIPOC yaitu:

- Mengidentifikasi proses yang akan dibuat diagram SIPOC.
- Definisikan lingkup yang akan dibuat diagram SIPOC yaitu pelanggan dan *output* utama serta *supplier* dan *input* utama.
- Tetapkan aktivitas utama dalam rangkaian proses.
- Perjelas hal-hal detail yang dibutuhkan diagram SIPOC seperti: apa karakteristik kunci *output* yang diinginkan pelanggan? dan apa karakteristik kunci *input* yang dibutuhkan proses?.

F. Checklist Langkah Define

Memastikan seluruh kebutuhan dalam langkah *define* telah terpenuhi seluruhnya.

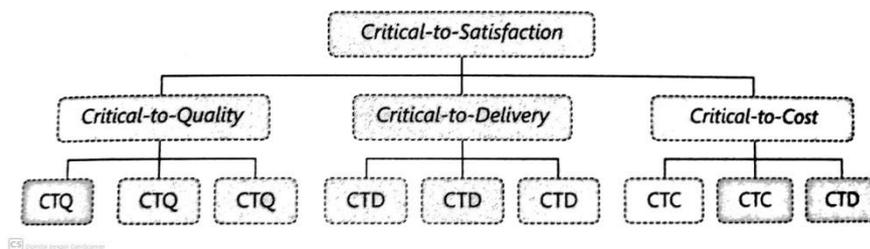
2. Mengukur (*Measure*)

Melakukan pengukuran kinerja pada proses yang sedang berlangsung dan mengumpulkan data yang relevan. Dalam tahapan ini hal-hal yang dilakukan adalah :

A. Memilih *Critical To Quality*

Critical To Quality (CTQ) adalah atribut terkait mutu produk atau jasa yang mencerminkan keinginan, kebutuhan dan kepuasan pelanggan sehingga merupakan alasan mengapa perlu dilakukan perbaikan kinerja sebuah proses dalam menghasilkan produk menggunakan metode *six sigma*. CTQ merupakan bagian dari *Critical to Satisfaction*, yaitu hal-hal yang mempengaruhi kepuasan pelanggan. *Critical to Satisfaction* dibagi menjadi 3 kelompok yaitu :

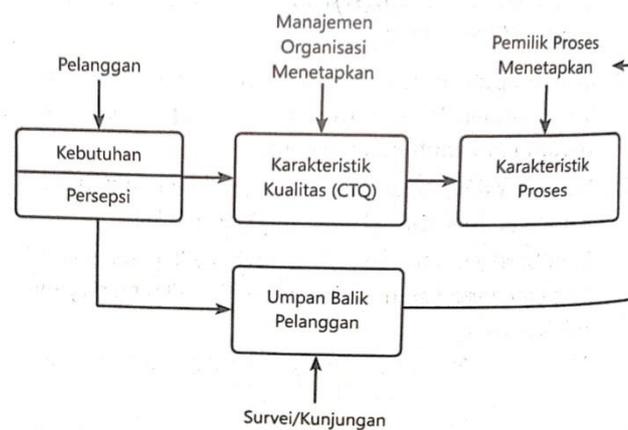
- *Critical To Quality*
- *Critical To Delivery*
- *Critical To Cost*



Gambar 2. 38 Diagram pohon Critical to Satisfaction
(Sumber : (Soemohadiwidjojo, 2017))

B. Menetapkan Indikator Kinerja Standar

Indikator kinerja standar ditetapkan berdasarkan persyaratan pelanggan, yang diperoleh dengan mendengarkan *VOC* (yang diulas pada tahapan *define*) dan CTQ yang ditetapkan pada tahapan sebelumnya. Dengan mengetahui secara detail apa yang menjadi keinginan pelanggan, organisasi dapat menetapkan indikator yang jelas dan spesifik untuk memastikan persyaratan dan keinginan pelanggan (*metric system*) terpenuhi.



Gambar 2. 39 konsep matrix system dalam pengukuran kualitas proses
(Sumber : (Soemohadiwidjojo, 2017))

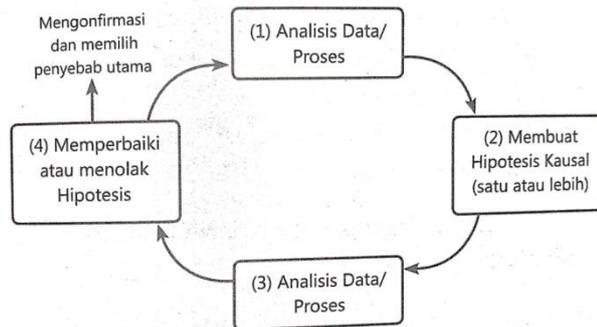
C. Membuat Rencana Pengukuran Dan Mengukur Kinerja Awal

Pada dasarnya, pengukuran indicator-indikator yang mewakili karakteristik kualitas dapat dilakukan pada tiga tingkatan berikut :

- Pengukuran pada tingkat proses, mengukur kinerja setiap aktivitas dalam proses dan karakteristik kualitas *input* yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas *output* yang diinginkan. Tujuan dari pengukuran ini adalah mengidentifikasi perilaku yang berpengaruh dalam proses, dan menggunakan ukuran-ukuran untuk mengendalikan dan meningkatkan kinerja proses operasional, serta memperkirakan kualitas. Contoh indikator terkait pengukuran tingkat proses adalah *cycle time*, lama waktu menjawab telpon dan sebagainya.
- Pengukuran pada tingkat *output*, mengukur karakteristik *output* yang dihasilkan dari suatu proses, dibandingkan terhadap spesifikasi karakteristik *output* yang diinginkan pelanggan. Contoh indikator terkait karakteristik *output* adalah banyaknya produk cacat, diameter produk yang dihasilkan dan lain-lain.
- Pengukuran pada tingkat *outcome*, mengukur tingkat kepuasan pelanggan dalam menggunakan produk/jasa yang diserahkan. Ini merupakan tingkat tertinggi dalam pengukuran kinerja kualitas . Contoh indikator *outcome* adalah jumlah keluhan pelanggan, banyaknya produk yang dikembalikan pelanggan, tingkat kepuasan pelanggan dan lain-lain.

3. Menganalisis (*Analyze*)

Melakukan analisis pada data yang telah dikumpulkan dan mencari hubungan antar data tersebut untuk menemukan *root cause* dari *defect* yang terjadi. Langkah ini merupakan langkah yang paling sulit diprediksi dalam implementasi *six sigma*, karena sangat bergantung pada lingkup dan karakteristik permasalahan proses yang akan diperbaiki.



Gambar 2. 40 Siklus Penentuan Akar Masalah
(Sumber : (Soemohadiwidjojo, 2017))

4. Memperbaiki (*Improve*)

Melakukan optimalisasi proses eksisting berdasarkan hasil analisis data. Hal-hal yang dilakukan yaitu :

- Menetapkan Prioritas.
- Menetapkan Hubungan Antar Variabel.
- Melakukan Perbaikan Proses.
- *Checklist* Langkah *improve*.

5. Mengendalikan (*Control*)

Melakukan pengendalian pada proses yang telah dioptimalisasi untuk memastikan hasil pencapaian. Dalam langkah ini, hal-hal yang dilakukan antara lain :

- Melakukan Validasi Pengukuran.
- Menetapkan dan Mendokumentasikan Kemampuan Baru Dari Proses.
- Mempertahankan dan Mengendalikan Proses Baru Agar Stabil.