



# **UJI KERETAKAN KNALPOT DENGAN METODE RADIOGRAPHY NON DESTRUCTIVE TESTING**

Skripsi

disusun sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
Program Studi Fisika

oleh

Alvin Fachrully Septiano

4211411027

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
JURUSAN FISIKA

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2016**

## PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa yang tertulis di dalam skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan dan karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

Semarang, Agustus 2016



Alvin Fachrully Septiano

NIM. 4211411027

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Uji Keretakan Knalpot dengan Metode Radiography Non-destructive Testing

disusun oleh

Alvin Fachrully Septiano

4211411027

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada tanggal 30 Agustus 2016



Panitia:

Ketua:  
Prof. Dr. Zaenuri, S.E, M.Si, Akt  
NIP. 196412231988031001

Sekretaris

Dr. Suharto Limuwih, M.Si  
NIP. 196807141996031005

Ketua Penguji

Sunarno, S.Si, M.Si  
NIP. 197201121999031003

Anggota Penguji/  
Pembimbing Utama

Prof. Dr. Susilo, M.S.  
NIP. 195208011976031006

Anggota Penguji/  
Pembimbing Pendamping

Dr. Ian Yulianti, M.Eng  
NIP. 197707012005012001

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### MOTTO:

- Terkadang kita tak mengerti akan kehidupan, karena kita manusia. Sesungguhnya ini Tuhan yang sedang bercerita.
- Tak ada yang perlu kau khawatirkan, kau dianugerahi dua kaki dan dua tangan, Bergeraklah !! (Edward Elric)



### PERSEMBAHAN :

- Untuk Ayah, dan Mamah yang senantiasa memberi doa dan kasih sayang.

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, inayah dan karunia serta ridhoNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Uji Keretakan Knalpot dengan Metode Radiography Non-destructive Testing”.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak, maka penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan studinya.
2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam atas izin yang diberikan kepada penulis untuk melakukan penelitian.
3. Ketua Jurusan Fisika atas kemudahan administrasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Prof. Dr. Susilo, M.S sebagai dosen pembimbing I yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan dengan penuh kesabaran.
5. Dr. Ian Yulianti, S.Si. M. Eng. sebagai dosen pembimbing II yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan dengan penuh kesabaran.
6. Sunarno, S.Si, M.Si sebagai dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang sangat berguna untuk penyempurnaan skripsi ini.
7. Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan bekal ilmu yang tak ternilai harganya selama belajar di FMIPA UNNES.

8. Ayah, dan Mamah yang selalu memberi doa, bantuan, dan dukungan serta semangat untuk saya selama ini.
9. Seluruh teman-teman Fisika yang saya sayangi.
10. Teman-teman Fisika Medis (Ani, Riza, Anna, Ninik, Dwi, Dewi, Serli, Tri, Azka, Hanen, Ebe) yang telah membantu dalam berjalannya proses penelitian dan menyelesaikan skripsi.
11. Keluarga besar Klentabh Nagari (Aiq, M.Set, Pray, Dzikri, Nata, Eja, Ipang, Alih, Hisyam, Dena, dan Bang Sep) yang selalu mendukung serta memberi saya semangat dan tak pernah berhenti memberi saya motivasi.
12. Inspirasi Hidupku yang selalu pahami keluh kesahku.

Penulis sadar dengan apa yang telah disusun dan disampaikan masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Untuk itu penulis menerima segala kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.



Semarang, Agustus 2016

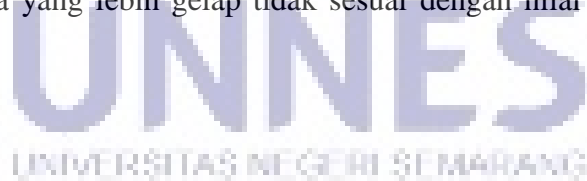
Penulis

## ABSTRAK

Alvin Fachrully Septiano. 2016. Uji Keretakan Knalpot dengan Menggunakan Metode *Radiography Non-destructive Testing*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama: Prof. Dr. Susilo, M.S. dan Pembimbing Pendamping: Dr. Ian Yulianti, S.Si. M. Eng.

**Kata Kunci:** RNDT, Knalpot, Radiografi, Faktor Eksposi, Pengolahan Citra

Knalpot merupakan perangkat otomotif yang terletak dibagian terluar sehingga sering terjadi kerusakan baik dikarenakan usia penggunaan maupun benturan. Deteksi cacat atau kerusakan knalpot dapat dilakukan dengan metode *Non-destructive Testing*. Salah satu metode NDT adalah dengan bantuan radiografi yang menghasilkan citra. Radiografi bergantung terhadap besaran faktor eksposi. Faktor eksposi diantaranya; Tegangan (kV), Arus (mA), Waktu (s), dan Jarak (cm). Dalam skripsi ini dilakukan optimasi faktor eksposi dan pengolahan citra hasil radiografi. Proses pengolahan citra meliputi penghalusan citra (*Low Pass Filter*) dan penajaman citra (*High Pass Filter*) dengan bantuan software MATLAB 2015a. Penghalusan citra meliputi *Ideal Low Pass Filter*, *Butterworth Low Pass Filter* dan *Gaussian Low Pass Filter* sedangkan penajaman citra meliputi *Ideal High Pass Filter*, *Butterworth High Pass Filter* dan *Gaussian High Pass Filter*. Selain dilakukan pengolahan citra dilakukan analisis dengan menggunakan metode Histogram guna mengetahui persebaran frekuensi skala keabuan citra, MSE (*Mean Square Error*) dan PSNR (*Peak Signal Noise Ratio*). Hasil optimasi menunjukkan bahwa faktor eksposi terbaik untuk objek knalpot Piaggio Vespa 1980 adalah 75kV, Arus 32mA, waktu 0,25s, dan jarak 80cm. Filter yang optimal digunakan pada penelitian ini adalah metode *Butterworth Low Pass Filter* pada Frekuensi *Cut Off* 300 dengan nilai MSE 200.6653 dan PSNR 25.1061. Sementara itu penggunaan metode *High Pass Filter* kurang tepat digunakan karena hasil citra yang lebih gelap tidak sesuai dengan nilai MSE dan PSNR yang dihasilkan.



# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERNYATAAN</b> .....	ii
<b>PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....	iv
<b>PRAKATA</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	x
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Masalah .....	4
1.4 Batasan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Skripsi .....	6
<b>BAB 2 LANDASAN TEORI</b>	
2.1 Sinar-X .....	8
2.2 Non Destructive Testing.....	11



2.3 Citra ..... 15

**BAB 3 METODE PENELITIAN**

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian ..... 26

3.2 Alat yang Digunakan ..... 26

3.3 Prosedur Penelitian ..... 28

**BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1 Optimasi Faktor Eksposi dengan Analisis Histogram ..... 31

4.2 Optimasi Frekuensi Pembatas (*Cut Off*) Filter Pengolahan Citra dengan Analisis MSE dan PSNR ..... 40

**BAB 5 PENUTUP**

5.1 Simpulan ..... 48

5.2 Saran ..... 48

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Tata Letak Pemeriksaan Radiography Non-destructive Testing (IAEA).....	12
Gambar 3.1 Bagian-bagian Unit Sistem Radiodiagnostik Sinar-X (a) Tabung Sinar-X (b). Kontrol Panel .....	26
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian .....	28
Gambar 3.3 Gambar Alir Penelitian.....	29
Gambar 4.1 Hasil Citra dan Histogram dengan Faktor Eksposi 0,25s; 32 mA; 65 cm (a). 60 kV (b). 75 kV (c). 90 kV .....	32
Gambar 4.2 Hasil Citra dan Histogram dengan Faktor Eksposi 0,25s; 75 kV; 65 cm (a). 32 mA (b). 63 mA .....	34
Gambar 4.3 Hasil Citra dan Histogram dengan Faktor Eksposi 75 kV; 32 mA; 65 cm (a). 0,20 s (b). 0,25 s (c). 0,32 s .....	36
Gambar 4.4 Hasil Citra dan Histogram dengan Faktor Eksposi 75 kV; 32 mA; 0,25 s (a). 65 cm (b). 80 cm (c). 95 cm.....	38
Gambar 4.5 Grafik Hubungan antara MSE dan Frekuensi Cut Off Metode <i>Low Pass Filter</i> .....	41
Gambar 4.6 Citra Hasil Filter dan Histogram (a). Citra Asli (b). <i>Ideal Low Pass Filter</i> dengan $F_c = 300$	

(c). *Butterworth Low Pass Filter* dengan  $F_c = 300$

(d). *Gaussian Low Pass Filter* dengan  $F_c = 300$ ..... 43

Gambar 4.7 Grafik Hubungan antara MSE dan Frekuensi Cut Off

Metode *High Pass Filter*..... 44

Gambar 4.8 Citra Hasil Filter dan Histogram (a). Citra Asli

(b). *Ideal High Pass Filter* (c). *Butterworth High Pass Filter*

(d). *Gaussian High Pass Filter* ..... 46

Gambar 4.9 Grafik Hubungan antara PSNR dan Frekuensi Cut Off

Metode *Low Pass Filter*..... 47

Gambar 4.10 Grafik Hubungan antara PSNR dan Frekuensi Cut Off

Metode *High Pass Filter*..... 48

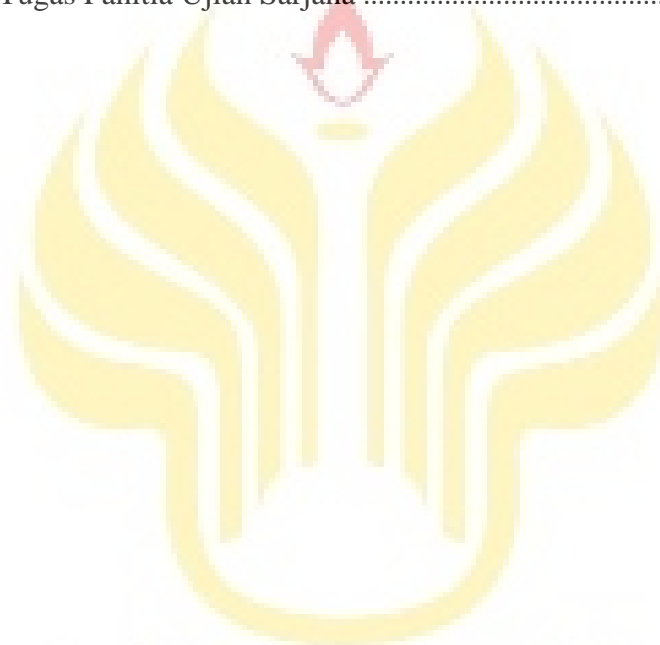


## DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran

1. Data Penelitian.....	51
2. Citra Penelitian .....	53
3. Surat Keputusan Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam	85
4. Surat Tugas Panitia Ujian Sarjana .....	86



**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Polusi suara adalah gangguan pada lingkungan yang diakibatkan oleh bunyi atau suara yang mengakibatkan ketidaktentraman makhluk hidup di sekitarnya. Pencemaran suara diakibatkan suara-suara bervolume tinggi yang membuat daerah sekitarnya menjadi bising dan tidak menyenangkan, salah satu sumber polusi suara adalah kendaraan bermotor.

Suara hasil pembakaran kendaraan bermotor merupakan refleksi yang dihasilkan oleh gesekan antara mesin dan udara pada saat proses pembakaran kendaraan bermotor. Ledakan pembakaran campuran bahan bakar dan udara berlangsung begitu cepat di ruang bakar. Untuk meredam suara atau gas sisa hasil pembakaran yang keluar dari klep buang tidak langsung dilepas ke udara terbuka. Gas buang disalurkan terlebih dahulu ke dalam peredam suara atau *muffler* di dalam knalpot. Inilah fungsi utama dari knalpot pada kendaraan.

Knalpot yang pada umumnya terletak dibagian luar kendaraan bermotor memiliki resiko kerusakan fisik yang besar disebabkan oleh masa penggunaan ataupun

benturan kecelakaan yang dapat menyebabkan knalpot mengalami keretakan yang berpengaruh pada volume suara kendaraan yang dapat menyebabkan kebisingan.

Salah satu metode untuk mendeteksi adanya cacat pada bahan penyusun knalpot adalah metode *Non Destructive Testing* (NDT). NDT merupakan bidang interdisipliner yang berurusan dengan pemeriksaan *non-invasif* komponen, struktur produk dan integritas. Hal ini memainkan peran penting dalam memastikan bahwa komponen struktural dan sistem melakukan fungsi mereka secara optimal. Metode NDT bertujuan untuk mencari dan mengkarakterisasi kondisi material dan kelemahan yang mungkin menyebabkan pesawat untuk crash, reaktor gagal, dan berbagai keadaan kurang terlihat pada pesawat. Tes ini dilakukan dengan tidak mempengaruhi kegunaan objek atau material (IAEA, 2008).

Sejauh ini pendugaan cacat pada knalpot hanya mengandalkan penglihatan semata, sedangkan seperti yang telah diketahui mata manusia memiliki keterbatasan dalam hal penglihatan yang berukuran kecil. Oleh karena itu dalam penelitian ini digunakan radiografi dalam mendeteksi cacat bahan penyusun knalpot yang biasa disebut dengan metode *Radiography Non destructive Testing* (RNDDT).

Dengan menggunakan radiografi digital yang telah dikembangkan oleh Laboratorium Fisika Unnes dapat dihasilkan citra digital dari objek yang akan diteliti. Selanjutnya, kualitas citra tersebut diperbaiki dengan menggunakan teknik pengolahan citra.

Ketika sebuah file radiograf sudah dalam bentuk digital, radiograf tersebut seringkali memiliki kelemahan sehingga tidak dapat dianalisis secara baik. Salah satunya disebabkan oleh kontras citra yang rendah, sehingga dibutuhkan metode peningkatan kualitas citra radiograf digital (Destyningtias, 2009).

Salah satu pengolahan citra adalah dengan cara perbaikan citra, perbaikan citra merupakan proses aksentuasi atau penajaman fitur tertentu dari citra (misalnya tepian, wilayah atau kontras) agar citra dapat ditampilkan secara lebih baik dan bisa dianalisis secara lebih teliti (Jain, 2011).

Perbaikan citra tidak meningkatkan kandungan informasi dari citra tersebut, melainkan memperlebar jangkauan dinamik dari suatu fitur (*feature*) sehingga bisa dideteksi atau diamati dengan lebih mudah dan tepat (Sutoyo, 2009).

## 1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini merupakan penelitian skala laboratorium dengan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mengetahui cacat perangkat otomotif dalam hal ini knalpot menggunakan metode Radiography *Non-destructive Testing* (RNDT)?
2. Bagaimana mendapatkan faktor eksposi (Tegangan, Arus, Jarak dan Waktu) yang baik sehingga mendapatkan citra yang terbaik?

3. Bagaimana mendapatkan pengolahan citra hasil ekspos menggunakan software MATLAB dalam hal ini mencakup proses filter penghalusan citra, proses penajaman citra dan menentukan skala Histogram, *Mean Square Error* (MSE), dan *Peak Signal Noise Ratio* (PSNR)?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan di atas maka tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Meneliti penggunaan metode RNDT (*Radiography Non-destructive Testing*) sebagai metode pendeteksian cacat pada knalpot.
2. Mendapatkan besaran faktor eksposi yang tepat dengan menggunakan metode RNDT (*Radiography Non-destructive Testing*).
3. Menentukan metode pengolahan citra yang terbaik agar menghasilkan citra radiografi yang terbaik.

### 1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini perlu adanya batasan masalah agar penelitian tetap fokus pada objek yang akan dikaji. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



1. Penggunaan perangkat otomotif yang akan dikaji adalah peredam suara pada knalpot (*Silencer*).
2. Pengolahan citra menggunakan software matlab dengan metode penghalusan citra (*Ideal Low Pass Filter*, *Butterworth Low Pass Filter*, dan *Gaussian Low Pass Filter*), Penajaman citra (*Ideal High Pass Filter*, *Butterworth High Pass Filter*, dan *Gaussian High Pass Filter*) yang dianalisis dengan metode Histogram, *Mean Square Error* (MSE), dan *Peak Signal Noise Ratio* (PSNR). .

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi semua pihak, adapun manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi penggunaan metode RNDT sebagai pendeteksian keretakan pada perangkat knalpot.
2. Menjadi referensi besaran faktor eksposi yang terbaik untuk mendapat citra yang terbaik pada metode RNDT.
3. Menginformasikan penggunaan pengolahan citra yang terbaik untuk mendapatkan hasil citra yang terbaik untuk menunjang pendeteksian keretakan pada knalpot.

## 1.6 Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika dalam skripsi ini disusun dengan tujuan agar pokok-pokok masalah yang dibahas dapat urut, terarah dan jelas. Sistematika skripsi ini terdiri dari tiga bagian, yaitu: bagian awal, bagian isi dan bagian akhir. Bagian awal skripsi berisi halaman judul, halaman persetujuan pembimbing, halaman pengesahan, halaman pernyataan, halaman motto dan persembahan, kata pengantar, halaman abstrak, daftar isi, daftar gambar, daftar tabel, dan daftar lampiran. Bagian isi skripsi terdiri dari 5 (lima) bab yang meliputi :

### 1. Bab 1 Pendahuluan

Bab ini memuat latar belakang, permasalahan, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan skripsi.

### 2. Bab 2 Landasan Teori

Bab ini terdiri dari kajian mengenai landasan teori yang mendasari permasalahan skripsi ini serta penjelasan yang merupakan landasan teori yang diterapkan dalam skripsi dan pokok-pokok bahasan yang terkait dalam pelaksanaan penelitian.

### 3. Bab 3 Metode Penelitian

Bab ini menguraikan metode penelitian yang meliputi: waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan penelitian, dan prosedur penelitian.

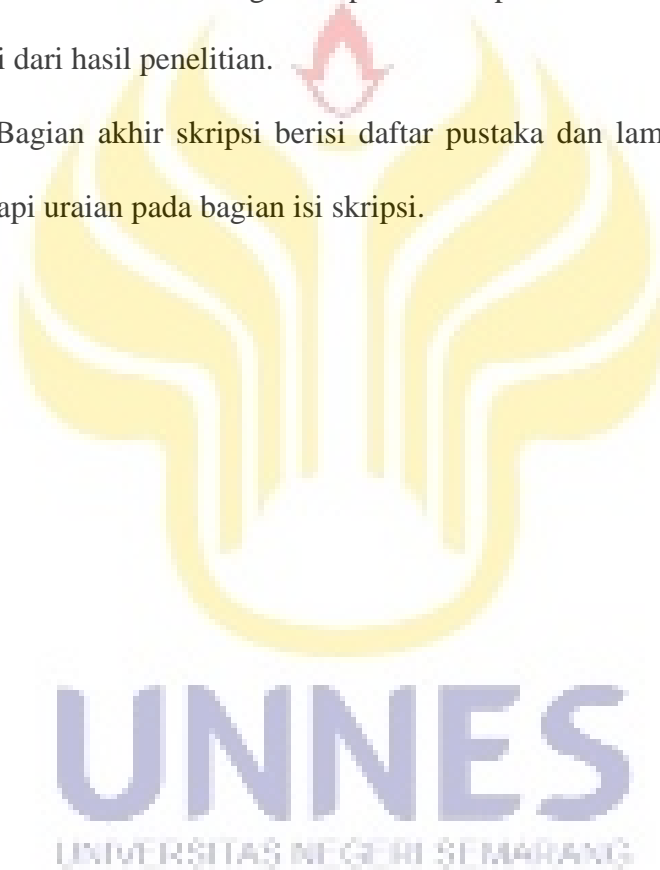
#### 4. Bab 4 Hasil Penelitian dan Pembahasan

Bab ini berisi tentang pelaksanaan penelitian, semua hasil penelitian yang dilakukan dan pembahasan terhadap hasil penelitian.

#### 5. Bab 5 Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan hasil penelitian dan saran-saran sebagai implikasi dari hasil penelitian.

Bagian akhir skripsi berisi daftar pustaka dan lampiran-lampiran yang melengkapi uraian pada bagian isi skripsi.



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Sinar X

Penemuan sinar-X berawal dari penemuan Rontgen (1845-1923), seorang fisikawan Universitas *Wutzburg* sewaktu bekerja dengan tabung sinar katoda pada tahun 1895. Rontgen menemukan bahwa sinar dari tabung dapat menembus bahan yang tak tembus cahaya dan dapat mengaktifkan layar pendar atau film foto. Sinar ini berasal dari titik dimana elektron dalam tabung mengenai sasaran di dalam tabung tersebut atau tabung kacanya sendiri (Beiser, 1999 : 59).

Tabung sinar-X jenis pertama yang ditemukan oleh Willhem Conrad Rontgen pada tahun 1895 disebut *Cold Chatoda Tube*. Perkembangan selanjutnya pada tahun 1913 Collige menyempurnakan penemuan Rontgen dengan memodifikasi tabung yang digunakan. Tabung yang digunakan adalah tabung vakum yang didalamnya hanya terdapat 2 elektroda yaitu anoda dan katoda. Tabung jenis ini kemudian disebut dengan *Hot Chatoda Tube* dan merupakan tabung yang dipergunakan untuk pesawat Radiografi Konvensional yang sekarang ini (Mukhlisin, 2012).

Bahan fotografi yang sensitif terhadap cahaya, juga sensitif terhadap sinar-X. Bila sinar-X dilewatkan ke badan, maka sebagian diserap dan sebagian lainnya dapat

menembus bahan, tergantung dari daya tembus sinar-X, nomor atom, kepadatan, dan ketebalan (Nirmalasari, 2012).

### 2.1.1 Konsep Dasar Sinar-X

Sinar X merupakan gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang antara  $10^{-9}$  sampai  $10^{-8}$  m yang jauh lebih pendek daripada cahaya tampak, sehingga energinya lebih besar (Retno, 2014). Besar energinya ( $E$  dalam Joule) dan hubungan terhadap faktor eksposi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan.

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.1)$$

$$\frac{hc}{\lambda} = eV + Q \quad (2.2)$$

$$\lambda = \frac{hc}{eV+Q} \quad (2.3)$$

$$\lambda_{mm} = \frac{hc}{eV} \quad (2.4)$$

dengan:

$E$  = besarnya energi (Joule)

$h$  = konstanta plank ( $6,627 \times 10^{-34}$  Js)

$c$  = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)

$\lambda$  = panjang gelombang (m)

$Q$  = energi ikat elektron

$eV$  = Tegangan (Kv)

### 2.1.2 Interaksi Sinar-X dengan Bahan

Kehilangan energi dari sinar-X bila melewati suatu media (zat) terjadi karena tiga proses utama yaitu efek foto listrik, efek Compton dan efek produksi pasangan. Efek foto listrik dan efek Compton timbul karena interaksi antara sinar-X dengan elektron - elektron dalam atom dari media (zat) itu sendiri, sedang efek produksi pasangan timbul karena interaksi dengan medan listrik dari inti atom (Suyatno, 2007).

Citra radiograf yang dihasilkan oleh sistem radiografi pada dasarnya adalah pemetaan dari berkas sinar-X yang diteruskan  $I_x$ , berkas mula-mula yang datang  $I_0$ , tebal obyek  $x$  dan kepadatan obyek (tulang)  $\lambda$ . Oleh karena adanya kehilangan energi foton didalam tebal  $x$  dari lapisan, maka akan terjadi pengurangan intensitas. Hubungan antara  $I_0$  dan  $I_x$  adalah sebagai berikut (Susilo, 2010):

$$I_x = I_0 \exp(-\lambda x) \quad (2.5)$$

dengan :

$I_x$  = Intensitas sinar-x yang menembus media

$I_0$  = Intensitas sinar-x mula-mula yang datang ke media

$\lambda$  = koefisien absorpsi linier

$x$  = Tebal materi

## **2.2. Non Destructive Testing (NDT)**

Uji tak-merusak (NDT) adalah teknik non-invasif untuk menentukan integritas bahan, komponen atau struktur. Karena memungkinkan pemeriksaan tanpa mengganggu penggunaan suatu produk, NDT memberikan keseimbangan yang sangat baik antara kontrol kualitas dan efektivitas biaya.

Tujuan utama NDT adalah untuk memprediksi atau menilai kinerja dan pelayanan kehidupan komponen atau sistem pada berbagai tahap manufaktur dan jasa siklus. NDT digunakan untuk kontrol kualitas fasilitas dan produk, dan untuk kebugaran atau penilaian tujuan (disebut penilaian tanaman hidup) untuk mengevaluasi sisa hidup operasi komponen tanaman (lini pengolahan, pipa dan pembuluh).

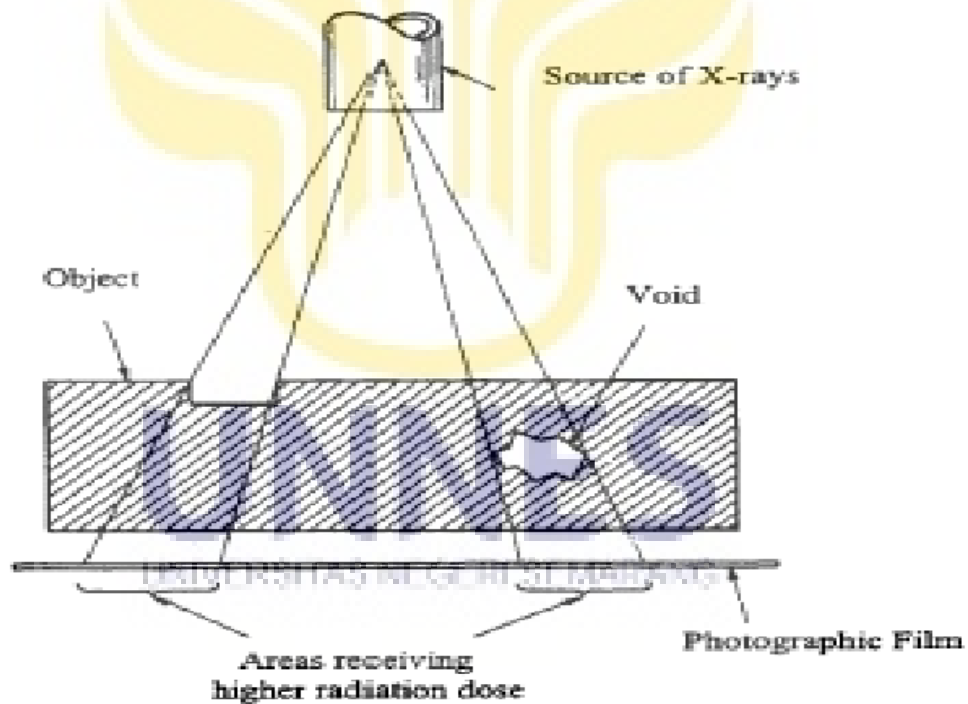
NDT memungkinkan bagian dan bahan-bahan yang akan diperiksa dan diukur tanpa merusak mereka. Karena memungkinkan pemeriksaan tanpa mengganggu penggunaan akhir suatu produk, NDT memberikan keseimbangan yang sangat baik antara kontrol kualitas dan efektivitas biaya. Secara umum, NDT berlaku untuk semua jenis inspeksi industri, termasuk logam dan struktur non logam.

### ***2.2.2 Radiography Non Destructive Testing (RNDDT)***

Radiografi adalah metode NDT, yang menggunakan penetrasi radiasi. Hal ini didasarkan pada penyerapan diferensial radiasi oleh bagian bawah pemeriksaan. Dalam pemeriksaan ini sumber radiasi didapat dari bahan radioaktif, biasanya Iridium-

192, Cobalt-60, Caesium-137, yang memancarkan sinar- $\gamma$  atau dari membangun mesin khusus yang dapat memancarkan sinar-X. Yang pertama dikenal sebagai gamma radiografi sedangkan yang terakhir ini disebut sebagai radiografi sinar-X.

Ada banyak metode NDT, tetapi hanya dapat memeriksa volume spesimen, beberapa hanya mengungkapkan cacat permukaan. Salah satu metode NDT yang terbaik dan banyak digunakan adalah radiografi dalam hal ini penggunaan sinar-X dan sinar- $\gamma$  untuk menghasilkan radiograf dari spesimen, yang menunjukkan perubahan ketebalan, cacat (internal dan eksternal) (IAEA, 2008).



**Gambar 2.1** Tata Letak Pemeriksaan Radiography Non Destructive Testing (IAEA, 2008)



Jika sinar-X atau sinar- $\gamma$  menembus materi yang mengalami cacat, Pada hasil citra radiograf akan terjadi heterogenitas dalam bentuk perbedaan intensitas yang disebabkan struktur internal materi melalui proses penyerapan dan hamburan. Jika struktur internal homogen, proses penyerapan dan hamburan akan homogen diseluruh materi sehingga menghasilkan intensitas citra radiograf yang homogen (IAEA, 2008).

Dalam penelitian ini digunakan materi yang berbahan logam yang diimplementasikan dalam peralatan otomotif berupa knalpot (*Silencer*) sebagai peredam suara hasil ledakan pembakaran bahan bakar dalam mesin. Knalpot yang berada diluar kendaraan sangat rentan terhadap diskontinuitas dalam bentuk korosi sehingga mengurangi ketebalan logam.

Secara tradisional logam dapat diklasifikasikan menjadi *Ferrous* dan *nonferrous*. *Ferrous* memiliki bahan dasar logam besi, sedangkan logam *nonferrous* berbahan dasar logam non besi. Logam rentan terhadap korosi yang ditunjukkan dengan adanya kerak pada permukaan. Kerak ini terbentuk secara alami ketika logam dikenai udara dalam periode waktu tertentu. Korosi dapat pula dipercepat karena interaksi bahan kimia (Phillip, 2003:13).

Radiasi ini kemudian direkam oleh media perekam yang cocok, biasanya film radiografi. Ketika film diproses, gambar gelap homogen akan muncul di film yang menunjukkan homogenitas material yang diuji. Situasi ini berbeda untuk kasus bahan yang mengandung diskontinuitas atau cacat dalam ketebalan. Secara umum,

penyerapan radiasi oleh bahan tergantung pada ketebalan efektif melalui mana radiasi menembus (IAEA, 2008).

Dengan demikian, kehadiran diskontinuitas tersebut menyebabkan radiasi mengalami sedikit penyerapan dibandingkan dengan materi yang tidak memiliki diskontinuitas. Akibatnya, di daerah yang mengandung diskontinuitas radiasi lebih mudah menembus, sehingga dicatat oleh film dan membentuk gambar gelap yang mewakili struktur internal material (IAEA, 2008).

Munculnya gambar radiografi tergantung pada jenis diskontinuitas yang dihadapi oleh radiasi. Celah misalnya akan menghasilkan garis halus, gelap dan tidak teratur, sedangkan porositas menghasilkan bulatan gelap dengan ukuran yang berbeda (IAEA, 2008).

Radiografi secara luas digunakan di industri. Kemampuan untuk menghasilkan gambar permanen dua dimensi menjadikannya sebagai salah satu metode NDT yang paling populer untuk aplikasi industri. Karena sifatnya yang berbahaya, maka penggunaan radiasi, termasuk untuk radiografi industri secara ketat dikontrol oleh Otoritas Pengatur (IAEA, 2008).

Keuntungan dan keterbatasan metode ini adalah sebagai berikut:

Keuntungan menggunakan metode *Radiography Non Destructive Testing* (RNDDT)

1. Berlaku untuk hampir semua materi.

2. Menghasilkan gambar permanen yang mudah didapat untuk referensi di masa mendatang.
3. Mampu mendeteksi permukaan, bawah permukaan, dan diskontinuitas internal yang mampu mengekspos kesalahan fabrikasi pada berbagai tahap.

Adapun keterbatasan metode *Radiography Non Destructive Testing* (RNDDT)

1. Radiasi yang digunakan berbahaya bagi pekerja dan anggota masyarakat
2. Metode mahal (biaya peralatan dan aksesori lain yang berkaitan dengan keselamatan radiasi relatif mahal)
3. Tidak mampu mendeteksi diskontinuitas laminar
4. Beberapa peralatan yang besar
5. Untuk radiografi sinar X memerlukan listrik
6. Membutuhkan dua sisi aksesibilitas (sisi film dan sisi sumber)
7. Hasil tidak seketika. Hal ini membutuhkan pemrosesan film, interpretasi dan evaluasi
8. Membutuhkan personil yang sangat terlatih dalam subjek radiografi serta keselamatan radiasi.

### 2.3 Citra

Citra (*image*) atau istilah lain untuk gambar sebagai salah satu komponen multimedia memegang peranan sangat penting sebagai bentuk informasi visual.

Meskipun sebuah citra kaya akan informasi, namun sering kali citra yang dimiliki mengalami penurunan mutu, misalnya mengandung cacat atau *noise*. Tentu saja citra semacam ini menjadi lebih sulit untuk diinterpretasikan karena informasi yang disampaikan oleh citra tersebut menjadi berkurang (Sony, 2006).

### 2.3.1 Citra Digital

Citra adalah representasi spasial dari suatu objek bidang dua dimensi yang biasanya ditulis dalam koordinat kartesian  $x - y$ . Setiap koordinat merepresentasikan satu sinyal terkecil dari citra yang disebut pixel (iqbal, 2009). Sebuah citra monokromatik yang mempunyai berbagai skala keabuan (*gray scale*) dinyatakan secara matematis oleh sebuah fungsi kecerahan spasial  $f(x,y)$  dengan  $(x,y)$  menyatakan koordinat spasial sebuah titik dalam citra datar atau dua dimensi (Gonzales, 2004). Nilai  $f(x,y)$  adalah  $0 < f(x,y) < \infty$  sebanding dengan skala keabuan citra pada titik  $(x,y)$  (Akhlis, 2003).

Berdasarkan dasar teori diatas dapat diuraikan bahwa citra merupakan kumpulan dari *pixel* yang tersusun dalam sebuah matriks. Supaya citra digital dapat diolah oleh komputer, maka harus mempunyai format tertentu. Salah satunya citra keabuan, warna ini pada ruang RGB dengan komponen merah, hijau, dan biru masing-masing mempunyai intensitas yang sama. Intensitas citra berskala keabuan disimpan

sebagai integer 8 bit skala keabuan. Terdapat 256 skala keabuan *pixel* dari 0 untuk warna hitam sampai 255 untuk warna putih.

Citra digital pada umumnya berbentuk persegi panjang, dan dimensi ukurannya dinyatakan sebagai lebar kali panjang (Nugroho, 2012). Citra digital yang memiliki lebar ( $N$ ), panjang ( $M$ ), dan memiliki skala keabuan ( $L$ ) ditunjukkan pada persamaan (2.3):

$$f(x, y) = \begin{cases} 0 \leq x \leq M \\ 0 \leq y \leq N \\ 0 \leq f \leq L \end{cases} \quad (2.6)$$

Fungsi citra digital yang berukuran  $N \times M$  dapat dinyatakan dengan matrik yang berukuran  $N$  baris dengan  $M$  kolom persamaan (2.4) (Gonzales, 2004):

$$f(x, y) \approx \begin{matrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,M) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,M) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(N-0) & f(N-1) & \dots & f(N-1, M-1) \end{matrix} \quad (2.7)$$

Citra yang telah dilakukan pendigitalan dengan kamera dan terkuantisasi dalam bentuk skala diskrit disebut citra digital, sehingga citra radiograf digital merupakan hasil *Rontgen* yang tersimpan pada file citra (Purnomo, 2010).

### 2.3.2 Kontras Citra

Kontras menyatakan sebaran terang (*lightness*) dan gelap (*darkness*) di dalam sebuah citra dan dapat dikelompokkan menjadi dua kategori kontras: citra kontras rendah (*low contrast*) dan citra kontras tinggi (*high contrast*) (Munir, 2004: 106).

Faktor-faktor yang mempengaruhi kontras dalam film radiograf yaitu perbedaan koefisien atenuasi, ketebalan bahan, sehingga menjadikan setiap film radiograf dengan obyek dan koefisien atenuasi yang berbeda maka kontrasnya juga berbeda (Ulya, 2014).

Citra yang memiliki kontras rendah dapat terjadi karena kurangnya pencahayaan, kurangnya bidang dinamika dari sensor citra, atau kesalahan pengaturan kombinasi parameter pencahayaan (Wakhidah, 2011). Citra kontras rendah sebagian besar komposisi citranya adalah gelap atau terang. Histogramnya menunjukkan skala keabuan yang terkelompok atau hanya menempati sebagian kecil dari rentang skala keabuan.

Jika *pixel* menempati sisi bagian kiri pada histogram maka memiliki skala rendah dan citranya cenderung gelap. Sedangkan bagian kanan pada skala keabuan citranya cenderung terang. Komposisi lainnya, jika *pixel* berada di daerah tengah skala keabuan dengan rentang skala keabuan yang sempit maka citranya memiliki kontras rendah (Ulya, 2014).

Citra dengan kontras tinggi memiliki rentang skala keabuan yang lebar. Citra yang memiliki kualitas kurang baik dapat diperbaiki, misalnya citra memiliki noise, citra terlalu terang atau gelap, citra kurang tajam, kabur (*blur*), dan sebagainya. Beberapa teknik pengolahan citra digital meliputi, kecerahan citra (*image brightness*), kontras citra (*image contrast*), penghalusan citra (*image smoothing*), penajaman citra

(*image sharpening*), deteksi tepi (*edge detection*), citra negatif (*negative image*) dan histogram.

### 2.3.3 Perbaikan Kualitas Citra

Pengolahan citra bertujuan untuk memperbaiki kualitas citra agar mudah diinterpretasi oleh manusia atau komputer (Yahya, 2011). Proses peningkatan kualitas citra bertujuan untuk memperoleh citra yang dapat memberikan informasi sesuai dengan kebutuhan (Wakhidah, 2011). Perbaikan kualitas citra merupakan suatu proses yang dilakukan untuk mendapatkan kondisi tertentu pada citra.

Proses tersebut dilakukan dengan menggunakan berbagai macam metode tergantung pada kondisi yang diharapkan pada citra, seperti mempertajam bagian tertentu pada citra, menghilangkan *noise* atau gangguan, manipulasi kontras dan skala keabuan, dan sebagainya. Secara umum metode-metode yang digunakan dapat digolongkan kedalam dua kelompok yaitu metode domain frekuensi dan metode domain spasial.

Pada metode domain frekuensi, teknik pemrosesannya berdasarkan pada transformasi Fourier terhadap nilai *pixel*. Sedangkan pada metode domain spasial prosesnya dioperasikan langsung terhadap *pixel*, dimana untuk memproses sebuah *pixel* harus mengikut sertakan *pixel-pixel* tetangganya. Fungsi matematis dari metode domain spasial adalah sebagai berikut :

$$g(x,y) = T[f(x,y)] \quad (2.8)$$

$f(x,y)$  adalah fungsi citra masukan,  $g(x,y)$  adalah citra hasil atau keluaran, sedangkan  $T$  adalah operator atas  $f$ , yang didefinisikan terhadap kumpulan tetangga-tetangga  $(x,y)$ . Contoh dari metode ini adalah operasi *filtering* citra yaitu penghalusan citra dengan cara menghilangkan *noise* pada citra (Sony, 2006).

Pada proses perbaikan citra dilakukan proses penghalusan dan penajaman citra.

#### A. Proses penghalusan citra

Prinsip kerja filter ini adalah meloloskan frekuensi rendah dan meredam frekuensi tinggi. Proses penghalusan citra terdiri dari:

##### 1. *Ideal low pass filter*

Filter low pass 2-D yang melewatkan tanpa pelemahan semua frekuensi dalam lingkungan radius  $D_0$  dari origin dan meng'cutoff' semua frekuensi diluar lingkaran disebut *ideal low pass filter* (ILPF) yang ditentukan oleh fungsi (Aniati, 2004).

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{if } D(u, v) \leq D_0 \\ 0 & \text{if } D(u, v) \geq D_0 \end{cases} \quad (2.9)$$

Dengan:

$H(u, v)$  = Fungsi citra digital

$D_0$  = Frekuensi Cut Off

Dengan :

$$D(u,v) = \sqrt{U^2 + V^2} \quad (2.10)$$

Adalah jarak dari titik  $(u,v)$  ke pusat dari kotak frekuensi (titik pusat transformasi).



## 2. *Butterworth low pass filter*

Fungsi transfer dari *Butterworth low pass filter* (BLPF) dengan orde, dan dengan cutoff frequency pada jarak  $D_0$  dari origin yaitu :

$$\frac{1}{[D(u,v)/D_0]^{2n}} \quad (2.11)$$

Dengan:

$D_0$  = Frekuensi cutoff.

$D(u,v)$  = Fungsi citra digital.

## 3. *Gaussian low pass filter*

*Gaussian low pass filters* (GLPF) bisa dimanfaatkan untuk mengetahui lebih dalam relasi antara spatial dengan *frequency domain*  $\sigma$  merupakan ukuran penyebaran dari kurva Gaussian. Dengan  $\sigma = D_0$  persamaannya akan menjadi:

$$H(u,v) = e^{-D^2(u,v)/2D_0^2} \quad (2.12)$$

Dengan:

$D_0$  = Frekuensi cutoff.

$D(u,v)$  = Fungsi citra digital.

## B. Proses penajaman citra

Prinsip kerja filter ini adalah meloloskan frekuensi tinggi dan meredam frekuensi rendah. Proses penajaman citra terdiri dari:

### 1. *Ideal high pass filter*

$$H(u, v) = \begin{cases} 0 & \text{if } D(u, v) \leq D_0 \\ 1 & \text{if } D(u, v) > D_0 \end{cases} \quad (2.13)$$

Dengan:

$D_0$  = Frekuensi cutoff.

$D(u, v)$  = Fungsi citra digital.

### 2. *Butterworth high pass filter*

Sama seperti kasus pada *low pass filtering*, hasil dari *Butterworth high pass filter* (BHPF) order 2 pada yang diset sama dengan IHPF, akan terlihat lebih smooth dari pada hasil IHPF. Persamaannya adalah

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [D(u, v)/D_0]^{2n}} \quad (2.14)$$

Dengan:

$D_0$  = Frekuensi cutoff.

$D(u, v)$  = Fungsi citra digital.

### 3. Gaussian high pass filter

Fungsi transfer pada *Gaussian high pass filter* (GHPFF) dengan cutoff frequency terletak pada jarak  $D_0$  dari origin, adalah :

$$H(u, v) = 1 - H_{GLPF}(u, v) \quad (2.15)$$

Dengan  $H_{GLPF}$  :

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{if } D(u, v) \leq D_0 \\ 0 & \text{if } D(u, v) \geq D_0 \end{cases}$$

## 2 Pengukuran Kualitas Citra

Merupakan metode untuk mengetahui besaran kualitas citra sehingga didapatkan citra yang terbaik. Dalam pengukuran kualitas citra digunakan 3 metode yaitu :

### 1. Histogram

Histogram merupakan grafik yang menggambarkan penyebaran skala keabuan *pixel* dan berfungsi untuk mengetahui kualitas citra (Murinto, 2008). Histogram juga merupakan fungsi yang menunjukkan informasi suatu citra dengan absis (sumbu- $x$ ) adalah skala keabuan, dan ordinat (sumbu- $y$ ) adalah frekuensi kemunculan atau jumlah *pixel*. Hal ini menunjukkan bahwa histogram citra adalah grafik yang menggambarkan penyebaran nilai-nilai intensitas *pixel* dari suatu citra atau bagian tertentu dalam citra.

Histogram juga dapat digunakan untuk mengetahui homogenitas suatu citra digital (Munir, 2004: 95).

Penggunaan histogram dalam penelitian ini memegang peran penting dalam mengetahui kualitas citra. Citra gelap intensitasnya memiliki skala keabuan yang rendah sehingga histogramnya cenderung di bagian kiri sebaliknya citra terang memiliki intensitas yang tinggi sehingga histogramnya cenderung dibagian kanan.

Fungsi transformasi intensitas didasarkan pada informasi yang diekstrak dari skala keabuan yang berupa histogram. Histogram sebuah citra digital dengan *range*  $[0, L-1]$  ditunjukkan pada persamaan (2.13):

$$h(r_k) = n_k \quad (2.16)$$

dengan  $r_k$  adalah skala keabuan dan  $n_k$  adalah jumlah *pixel* pada citra. M dan N merupakan ukuran baris dan kolom citra. Sedangkan normalisasi histogram pada persamaan  $p(r_k) = (n_k)$ , dengan  $k=0,1,2,3,\dots,(L-1)$ . Jadi  $p(r_k)$  merupakan probabilitas jumlah sebuah skala keabuan  $r_k$  dalam citra.

## 2. MSE (*Mean Square Error*)

Citra sebelum diolah  $f(x,y)$  terdiri dari  $N \times M$  pixel dan citra hasil pengolahan  $g(x,y)$  dibagi dengan nilai luasannya sehingga mendapatkan nilai MSE (Ulya, 2014). Fungsi citra digital yang berukuran  $N \times M$  dapat dinyatakan dengan matrik yang berukuran  $N$  sebagai baris dan  $M$  sebagai kolom (Gonzales, 2004).

$$f(x,y) \approx \begin{matrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,M) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,M) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(N-0) & f(N-1) & \dots & f(N-1,M-1) \end{matrix}$$

Sehingga dapat dinyatakan secara matematis MSE dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$MSE = \frac{\sum |f(x,y) - g(x,y)|^2}{M \times N} \quad (2.17)$$

### 3. PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*)

PSNR merupakan nilai perbandingan antara harga maksimum warna pada citra hasil *filtering* dengan kuantitas gangguan (*noise*), yang dinyatakan dalam satuan desibel (dB), *noise* yang dimaksud adalah akar rata-rata kuadrat nilai kesalahan ( $\sqrt{MSE}$ ).

Secara matematis, nilai PSNR dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PSNR = 20 \log_{10} \left( \frac{255}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (2.18)$$

Ketika dua buah citra identik maka nilai MSE citra radiografinya adalah 0, sehingga dihasilkan nilai PSNR pada citra tidak dapat didefinisikan. Nilai PSNR bergantung pada kuantitas gangguan (*noise*) / MSE (Ulya, 2014).

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Simpulan**

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa metode *Radiography Non-destructive Testing* dapat diaplikasikan untuk mengetahui cacat keretakan pada objek knalpot Piaggio Vespa 1980 dengan nilai faktor eksposi optimum adalah Tegangan 75kV, Arus 32mA, waktu 0,25s, dan jarak 80cm.

Hasil optimasi filter menunjukkan bahwa filter yang optimum adalah *Butterworth Low Pass Filter* pada Frekuensi Cut Off 300 dengan nilai MSE 200.6653 dan PSNR 25.1061. Sementara itu penggunaan metode High Pass Filter kurang tepat digunakan karena hasil citra yang lebih gelap tidak sesuai dengan nilai MSE dan PSNR yang dihasilkan.

#### **5.2 Saran**

Dalam penelitian yang berbasis pengolahan citra menggunakan *software* MATLAB diharapkan pemilihan hardware yang mumpuni sehingga proses pengolahan data menjadi lebih efisien dan hasil yang optimum.

## DAFTAR PUSTAKA

- Jain, A.K. 2011. *Digital Image Processing Fundamentals of Digital Image Processing*: Sharif University of Technology.
- Akhlis, I. 2003. *Perbaikan Kualitas Citra Radiograf Berbasis fuzzy Histogram Hyperbolization dan Penyerapannya pada Pendeteksi Kelainan*. Skripsi. Yogyakarta: FMIPA Universitas Gadjah Mada
- Murni, A. 2004. *Pengolahan Citra Digital Peningkatan Mutu Citra Pada Domain Frekuensi*: Jakarta, Universitas Indonesia.
- Beiser, A. 1999. *Konsep Fisika Modern Edisi Keempat*. Jakarta : Erlangga.
- Destyningtias, B. 2009. *Perbaikan Citra Medis Untuk Membantu Diagnosis pada Penderita Batu Empedu Berbasis GUI Matlab*. Skripsi. Semarang: USM
- Gonzales, R.C. 2004. *Digital Image Using MATLAB Processing*. United States of America: Pearson Education.
- IAEA Division. 2008. *Non-destructive Testing For Life Assesment*. Vienna : IAEA.
- Iqbal, M. 2009. *Dasar Pengolahan Citra menggunakan MATLAB*. Bogor: Marine Instrumentation and Telemetry Departmen Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor.
- Munir, R. 2004. *Pengolahan Citra Digital dengan Pendekatan Algoritmik*. Bandung: Informatika Bandung.
- Mukhlisin, I. 2012. *Teknik pengukuran radiasi pesawat radiologi di Rumah Sakit TK. III 04.06.02 Bhakti Wira Tamtama Semarang Jawa Tengah*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Murinto. W.P.P. & Sri, H. 2008. *Analisis Perbandingan Histogram Equalization dan Model Logarithmic Image Processing (LIP) untuk Image Enhancement*. Jurnal Informatika Vol 2, No 2, Juli 2008.
- Nirmalasari, D. 2012. *Pergeseran luas lapangan penyinaran (light field alignment) dari alat radiografi di RSUD dr. Soetomo Surabaya*. Skripsi. Surabaya : Universitas Airlangga Surabaya.
- Nugroho, E.C, Susilo & Akhlis. I. 2012. *Pengembangan Program Pengoloahan Citra Untuk Radiografi Digital*. Jurnal MIPA.

Phillip, A & Schweitzer, PE. 2003. *Mettalic Materials Physical, Mechanical, and Corrosion Properties*. Buku. New York, Pennsylvania, USA: Marcel Dekker, Inc.

Purnomo, M.H. & Muntasa, A. 2010. *Konsep Pengolahan Citra Digital dan Ekstraksi Fitur*. Surabaya: Graha Ilmu.

Retno, E.S. 2014. *Optimasi Faktor Eksposi pada Sistem Radiografi Digital Menggunakan Analisis CNR (Contrast to Noise Ratio)*. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang.

Sony. 2006. *Analisis Filtering Citra Dengan Metode Mean filter dan Median Median Filter*. Bandung, Unikom journal

Susilo, Sunarno, Azam, M., Anam C., 2010. *Rancang bangun system pencitraan radiografi digital untuk pengembangan layanan rumah sakit daerah dalam pelaksanaan otonomi daerah dan desentralisasi*. Laporan Penelitian Unggulan Strategis Nasional. Jakarta: Dikti.

Sutoyo, T.2009. *Teori Pengolahan Citri Digital*. Penerbit ANDI. Yogyakarta.

Suyatno, F. 2008. *Aplikasi Radiasi Sinar-x di Bidang Kedokteran untuk Menunjang Kesehatan Masyarakat*. Yogyakarta : Balai Press.

Ulya, S. 2014. *Digitalisasi Film Radiograf dan Perbaikan Kualitas Citra Menggunakan Metode Adaptive Histogram Equalization*. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang.

Wakhidah,, N. 2011. *Perbaikan Citra Menggunakan Metode Contrast Stretching (Improvement of Image Quality Using Method Contrast Stretching)*. Jurnal Transformatika, Volume 8, No.2, Januari 2011 : 78-83.

Yahya, Kurnia & Melita, Y. 2011. *Aplikasi Kompresi Citra Digital Menggunakan Teknik Jpeg dengan Fungsi GUI pada MATLAB*. Jurnal Teknik, Volume 3 No 2.

