



**UJI KUALITAS KERAMIK KLAMPOK-
BANJARNEGARA DENGAN METODE *RADIOGRAPHY*
*NON-DESTRUCTIVE TESTING (RNDT)***

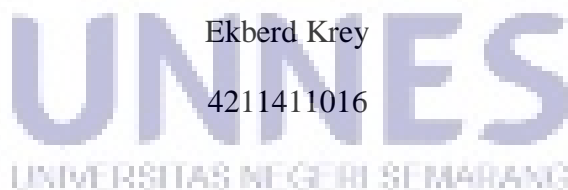
skripsi

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

oleh

Ekberd Krey

4211411016



**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, 13 September 2016

METERAI
TEMPEL

0D05DAEF034654279

6000
ENAM RIBU RUPIAH



Ekberd Krey

NIM. 4211411016

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Uji Kualitas Keramik Klampok-Banjarnegara dengan Metode *Radiography Non-Destructive Testing (RNDT)*

disusun oleh

Ekberd Krey

4211411016

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada tanggal 13 September 2016



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

Sekretaris

Dr. Suharto Linuwih, M.Si.
NIP. 196807141996031005

Ketua Penguji

Dr. Agus Yulianto, M.Si.
NIP. 196607051990031002

Anggota Penguji/
Pembimbing Utama

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

Anggota Penguji/
Pembimbing Pendamping

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

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO:

- Berusahalah dengan sungguh sungguh sampai kaki tak lagi mampu berjalan dan otak tak mampu lagi berpikir, lalu serahkan semuanya pada Tuhan.
- Setiap bangun tidur, ada punya satu pekerjaan, yaitu menjadi lebih baik dari hari ke hari. (Derrick Rose)

PERSEMBAHAN :

- Terima kasih kepada Allah atas semua kenikmatan yang telah Engkau berikan kepada hamba dan keluarga.
- Untuk Papah dan Mamah yang senantiasa memberi doa dan kasih sayang.
- Seluruh keluarga besar Fisika 2011, Fisika Medis dan teman-teman yang selalu memberi doa, semangat, dan dukungan.
- Keluarga Night kost.
- Inspirasi Hidupku.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, inayah dan karunia serta ridhoNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Uji Kualitas Keramik Klampok-Banjarnegara dengan Metode *Radiography Non-Destructive Testing (RNDT)*”**.

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. Bapak Sunarno, S.Si. M.Si. sebagai dosen pembimbing II yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan dengan penuh kesabaran.
6. Dr. Agus Yulianto, 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. Papah dan Mamah yang selalu memberi doa, bantuan, dan dukungan serta semangat untuk saya selama ini.

9. Keluarga besarku yang selalu memberi semangat dan doa.
10. Saudari Natalia Putri Eko Wibowo yang telah memberikan semangat dan dukungan serta sangat membantu dalam penelitian.
11. Seluruh teman-teman Fisika yang saya sayangi.
12. Teman-teman Fisika Medis (Ani, Riza, Anna, Ninik, Dwi, Dewi, Serli, Tri, Azka, Hanen, Alvin) yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi.
13. Keluarga besar Night Kost (Rifqy, Aji, Herry, Mc Nyos, Gunawan, Arif) yang selalu mendukung serta memberi saya semangat dan tak pernah berhenti memberi saya motivasi.

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, 20 Agustus 2015


UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
Penulis

ABSTRAK

Krey, E. 2016. Uji Kualitas Keramik Klampok-Banjarnegara dengan Metode *Radiography Non-Destructive Testing (RNDT)*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama: Prof. Dr. Susilo, M.S. dan Pembimbing Pendamping: Sunarno M.Si.

Kata Kunci: RNDT, Filter Deteksi Tepi, *GUI interface* dan PSNR

Keramik adalah peralatan yang terbuat dari lempung dan mengalami pembakaran dengan suhu tinggi. Keramik merupakan salah satu pangsa ekspor di Indonesia, tetapi produk ekspornya menurun. Hal ini dikarenakan penurunan kualitas keramik, oleh karena itu perlu dilakukan uji kualitas keramik. Salah satu uji kualitas keramik yang dikaji dalam penelitian ini adalah ada dan tidaknya keretakan dalam keramik (*internal cracking*). *Internal cracking* merupakan keretakan dalam keramik yang tak nampak mata. Pengujian ini dilakukan dengan metode *Radiography Non-Destructive Testing (RNDT)* yang merupakan salah satu metode NDT. Parameter yang divariasi yaitu tegangan (45kV, 50kV, 55kV, 60kV, 65kV, dan 70kV) serta jarak (65cm, 70cm, dan 75cm) sedangkan parameter arus dan waktu dibuat tetap yaitu 16mA dan 0,125s. Citra hasil radiografi diolah menggunakan 5 filter deteksi tepi yaitu deteksi tepi Sobel, deteksi tepi Prewitt, deteksi tepi Robert, deteksi tepi Canny dan deteksi tepi Log dengan bantuan *GUI interface* pada *Matlab2007b*. Hasil yang diperoleh yaitu keretakan terdapat pada salah satu sample pada tegangan paling optimum pada 70kV dengan jarak 65cm. Sampel lain tidak menunjukkan adanya keretakan atau dapat dikatakan dalam kondisi baik. Filter deteksi tepi yang paling baik serta memberikan gambaran yang jelas yaitu filter deteksi tepi Canny (nilai PSNRnya yaitu 7,8864) dan filter deteksi tepi LoG (nilai PSNRnya 8,1876).

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN.....	ii
PENGESAHAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iv
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Sistematika Penulisan Skripsi	6
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Sinar-X.....	8
2.1.1 Konsep Dasar Sinar-X.....	9
2.1.2 Mekanisme Sinar-X.....	11

2.1.3 Interaksi Sinar-X Dengan Materi	13
2.1.4 Radiografi Sinar-X	17
2.1.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sinar-X	21
2.1.5.1 Tegangan Tabung	21
2.1.5.2 Arus Tabung	23
2.1.5.3 Jarak Fokus ke Film (FFD).....	23
2.1.5.4 Waktu Eksposi	23
2.2 Non-Destructive Testing (NDT)	24
2.2.1 Radiography Non-Destructive Testing.....	29
2.3 Citra	34
2.3.1 Perbaikan Kualitas Citra	34
2.3.2 Pengukuran Kualitas Citra	40
2.4 Keramik	41
2.4.1 Bahan Pembuat Keramik	44
2.4.1.1 Lempung.....	44
2.4.1.2 Pasir Kuarsa.....	45
2.4.2 Keramik Klampok-Banjarnegara	46

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	47
3.2 Bahan dan Peralatan	47
3.2.1 Bahan Penelitian.....	47
3.2.2 Peralatan Penelitian	47
3.3 Variabel Penelitian	48

3.4 Langkah-Langkah Penelitian	48
3.5 Metode Pengumpulan Data.....	50
3.6 Analisis Data.....	51

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Citra Radiografi Keramik	52
4.2 Pengaruh Tegangan (kV) Terhadap Keramik.....	54
4.3 Pengaruh Jarak (d) terhadap Keramik	57
4.4 Analisis Nilai PSNR Filter Deteksi Tepi Terhadap Keramik	58

BAB V PENUTUP

5.1 Simpulan	735
5.2 Saran	735

DAFTAR PUSTAKA	76
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	81
----------------------	-----------



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Sifat fisik pasir kuarsa Indonesia (Prayogo & Budiman, 2009).....	45



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Skema tabung sinar-X (Hoxster, 1982).....	9
Gambar 2.2 Efek fotolistrik (Krane, 1992).....	13
Gambar 2.3 Kurva distribusi intensitas sinar-X (Meredith, 1977).....	19
Gambar 2.4 Kurva karakteristik film (Subianto, 1987).....	21
Gambar 2.5 Spektrum sinar-X pada tegangan tabung yang berbeda(Sprawls, 1987).	22
Gambar 2.6 <i>Ultrasonic Inspection</i> (Yudo & Jokosisworo, 2007)	25
Gambar 2.7 <i>Liquid Penetrant Inspection</i> (Yudo & Jokosisworo, 2007).....	26
Gambar 2.8 <i>Magnetic Particle Inspection</i> (Yudo & Jokosisworo, 2007).....	27
Gambar 2.9 <i>Edi Current</i> (Yudo & Jokosisworo, 2007)	27
Gambar 2.10 Tata Letak Pemeriksaan RNDT (wikipedia.org).....	29
Gambar 2.11 Operator Sobel	3838
Gambar 2.12 Operator Prewitt	39
Gambar 3.1 Bagian-bagian Unit Sistem Radiagnostik Sinar X: (a). Tabung sinar X, (b). <i>Panel control</i>	477
Gambar 3.2 Posisi Kolimator Dengan Sampel ... Error! Bookmark not defined.	
Gambar 4.1 Hasil citra radiografi digital sampel 1 pada jarak 65 cm, arus 16 mA, waktu 0,125 s, (a) tegangan 55 kV, (b) tegangan 60 kV....	53
Gambar 4.2 Hasil citra radiografi digital sampel 2 pada jarak 65 cm, arus 16 mA, waktu 0,125 s, (a) tegangan 55 kV, (b) tegangan 60 kV....	53

Gambar 4.3 Hasil citra radiografi digital sampel 3 pada jarak 65 cm, arus 16 mA, waktu 0,125 s, (a) tegangan 55 kV, (b) tegangan 60 kV....	53
Gambar 4.4 Hasil citra radiografi digital sampel 4 pada jarak 65 cm, arus 16 mA, waktu 0,125 s, (a) tegangan 55 kV, (b) tegangan 60 kV....	54
Gambar 4.5 Hasil citra radiografi digital sampel 5 pada jarak 65 cm, arus 16 mA, waktu 0,125 s, (a) tegangan 55 kV, (b) tegangan 60 kV....	54
Gambar 4.6 Hasil citra radiografi digital sampel 1 (a) 45 kV (atas hasil radiografi, bawah hasil invers radiografi); (b) 70 kV (atas hasil radiografi, bawah hasil invers radiografi).	55
Gambar 4.7 Hasil citra radiografi digital sampel 4 (a) 45 kV (atas hasil radiografi, bawah hasil invers radiografi); (b) 60 kV (atas hasil radiografi, bawah hasil invers radiografi); (c) 70 kV (atas hasil radiografi, bawah hasil invers radiografi).	56
Gambar 4.8 Hasil citra radiografi digital tegangan 70 kV (a) jarak 65 cm (atas hasil radiografi, bawah hasil invers radiografi); (b) jarak 70 cm(atas hasil radiografi, bawah hasil invers radiografi); (c) jarak 75 cm (atas hasil radiografi, bawah hasil invers radiografi).	57
Gambar 4.9 GUI Interface untuk 5 filter deteksi tepi pada sampel 1 pada tegangan 70 kV, jarak 65 cm, arus 16 mA dan waktu 0,125 s....	58
Gambar 4.10 Tampilan Gambar 4.9 dengan penanda keretakan.	59
Gambar 4.11 Perbandingan nilai PSNR sampel 1 dengan variasi tegangan dan jarak.....	60

Gambar 4.12 GUI Interface untuk 5 filter deteksi tepi pada sampel 2 pada tegangan 70 kV, jarak 65 cm, arus 16 mA dan waktu 0,125 s.....	62
Gambar 4.13 Perbandingan nilai PSNR sampel 2 dengan variasi tegangan dan jarak.....	63
Gambar 4.14 GUI Interface untuk 5 filter deteksi tepi pada sampel 3 pada tegangan 65 kV, jarak 65 cm, arus 16 mA dan waktu 0,125 s.....	65
Gambar 4.15 Perbandingan nilai PSNR sampel 3 dengan variasi tegangan dan jarak.....	66
Gambar 4.16 GUI Interface untuk 5 filter deteksi tepi pada objek 3 pada tegangan 60 kV, jarak 65 cm, arus 16 mA dan waktu 0,125 s.....	68
Gambar 4.17 Perbandingan nilai PSNR sampel 4 dengan variasi tegangan dan jarak.....	69
Gambar 4.18 GUI Interface untuk 5 filter deteksi tepi pada sampel 5 pada tegangan 70 kV, jarak 65 cm, arus 16 mA dan waktu 0,125 s.....	71
Gambar 4.19 Perbandingan nilai PSNR sampel 5 dengan variasi tegangan dan jarak.....	72



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

Lampiran 1. Data Penelitian	81
Lampiran 2. Citra Hasil Ekspos	113
Lampiran 3. Pengolahan Data.....	121
Lampiran 4. Daftar Gambar	133
Lampiran 5. Daftar Tabel	138
Lampiran 6. Surat-surat	139



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keramik merupakan salah satu perlengkapan rumah tangga atau suatu benda yang digunakan untuk mempercantik suatu ruangan. Pembuatan keramik berasal dari tanah liat yang didesain dan dibakar agar tercipta hasil karya yang bagus. Keramik mampu menjadi salah satu produk dalam negeri yang dapat dipasarkan keluar negeri (*eksport*). Ada beberapa negara yang memesan secara langsung keramik dalam negeri untuk dikirim secara besar-besaran karena memiliki ciri khas atau keunikan tersendiri.

Namun, dalam prakteknya ada beberapa produk yang mengalami cacat atau retak. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu adanya gelembung udara saat pembuatan dan kurangnya efisiensi panas dalam proses pembakaran. Adanya gelembung udara saat pembuatan akan menimbulkan retak saat proses pembakaran. Kurangnya efisiensi panas dalam proses pembakaran karena bahan bakar yang digunakan yang kurang memadai. Beberapa produk yang mengalami cacat atau retak biasanya tetap diekspor karena waktu yang kurang dalam memproduksi produk baru sehingga kualitas keramik menurun. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian kualitas keramik. Uji kualitas keramik meliputi uji kepadatan keramik, uji kuat tekan keramik, uji keretakan keramik dan sebagainya. Uji keretakan keramik terbatas pada keretakan pada permukaan (*nampak mata*), akan tetapi produk yang mengalami cacat atau retak dan tetap diekspor yaitu produk dengan cacat atau retak yang tak nampak mata (*retak dalam* atau *internal cracking*). Keramik yang memiliki keretakan dalam akan

menyebabkan keretakan bertambah bahkan pecah saat pengiriman. Untuk mendeteksi adanya keretakan dalam, diperlukan suatu metode pendeteksian yang tak merusak dan mampu mendeteksi keretakan dalam sehingga digunakan metode *Radiography Non-Destructive Testing (RNDT)* yang merupakan salah satu metode *Non-Destructive Testing (NDT)*.

Metode *Non Destructive Testing (NDT)* merupakan pemeriksaan yang bersifat non-invasif terhadap komponen, struktur produk dan integritas. Metode ini tidak merusak dan tidak mempengaruhi kegunaan objek atau material (IAEA, 2008).

Terdapat beberapa metode dalam NDT, yaitu *ultrasonic testing*, *visual inspection*, *liquid penetrant*, *magnetic particle*, *eddy current*, *thermography – infrared testing*, *vibration analisis* dan *Radiography Non-Destructive Testing (RNDT)*. Metode ultrasonic (*ultrasonic testing*) menggunakan gelombang suara frekuensi tinggi untuk mendeteksi ketidak sempurnaan atau perubahan sifat dalam bahan. Metode inspeksi visual (*visual inspection*) adalah metode yang tertua dari semua metode. Komponen discan secara visual dengan bantuan lensa daya rendah atau tinggi, *borescope*, kamera dan peralatan video, untuk menentukan kondisi permukaan. Pada metode *Liquid Penetrant*, benda uji dilapisi dengan larutan pewarna terlihat atau neon untuk mengetahui kondisi permukaan. Pada metode inspeksi *magnetic*, partikel digunakan untuk mengidentifikasi *diskontinuitas* dalam bahan *ferromagnetic* seperti baja dan besi. Teknik ini menggunakan prinsip bahwa garis gaya magnetik (*fluks*) akan terdistorsi oleh adanya *diskontinuitas* yang selanjutnya dapat digunakan untuk mengetahui kondisi permukaan bahan. Pada metode arus eddy, distorsi dalam aliran arus listrik (*eddy current*) yang disebabkan oleh ketidaksempurnaan atau perubahan

sifat konduktif bahan ini akan menyebabkan perubahan medan magnet induksi yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi permukaan bahan. Metode termografi (*thermography – infrared testing*) menggunakan informasi panas benda, mesin atau bangunan yang disajikan dalam bentuk grafis. Dari sini, variasi penyusun bahan diidentifikasi suhunya untuk mengetahui kondisi permukaan bahan. Metode analisis getaran (*vibration analisis*) menggunakan mesin rotary yang dapat menghasilkan getaran suara. Dengan memonitor frekuensi dan amplitudo getaran, dapat diperkirakan kondisi permukaan bahan. Metode *RNDT* adalah metode pendeteksian tak merusak menggunakan sifat tembus sinar-X untuk mengetahui kondisi bahan atau benda. Metode *RNDT* dipilih karena memiliki keunggulan, yaitu proses pemeriksaanya singkat dan mudah, merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui keretakan benda dan untuk memaksimalkan penggunaan pesawat sinar-X di laboratorium fisika UNNES.

Pesawat sinar-X di laboratorium fisika UNNES menggunakan pesawat sinar-X konvensional dengan sistem digital. Hal ini membuat hasil ekspose tidak lagi menjadi citra analog (menggunakan film), namun sudah menjadi citra digital yang dapat disimpan dalam komputer dengan format “.JPEG”. Citra digital yang dihasilkan dapat diperbaiki dengan proses pengolahan citra untuk mendapatkan hasil yang lebih baik guna menghasilkan citra yang berkualitas tinggi.

Pengolahan citra adalah 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). Hal ini yang menjadi dasar dari penelitian ini untuk mengetahui kualitas suatu produksi keramik dengan metode *Non-Destructive Testing* (NDT) menggunakan pesawat sinar-X yang lebih dikenal dengan istilah *Radiography Non-Destructive Testing* (RNDT).

Keramik yang akan diteliti adalah keramik Klampok-Banjarnegara yang sudah dikenal produksi ekspornya, tetapi setelah beberapa waktu, pemesanan ekspor menurun. Sehingga perlu diketahui kualitas dari keramik tersebut. Beberapa penelitian terdahulu telah menguji kualitas keramik dengan uji kuat tekan, uji kepadatan dan uji kekerasan keramik, namun masih ada beberapa produk yang mengalami cacat. Sehingga penelitian ini menggunakan salah satu uji kualitas yaitu uji keretakan keramik yang lebih difokuskan pada keretakan dalam (*internal cracking*). Hasil eksposi yang didapatkan akan diolah dan diamati hasil citranya sehingga diketahui retak dan tidaknya suatu keramik yang akan dijadikan penentuan kualitas keramik tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, permasalahan yang dihadapi dalam penelitian ini adalah:

- a. Apakah metode *Radiography Non-destructive Testing* dapat digunakan untuk mendeteksi adanya keretakan pada keramik.
- b. Bagaimana mendapatkan faktor eksposi (tegangan dan jarak) yang optimum sehingga mendapatkan citra yang terbaik.

- c. Bagaimana mendapatkan citra terbaik dari hasil ekspose berdasarkan filter deteksi tepi menggunakan software *matlab 2007b* berbasis *GUI interface* serta menentukan nilai *Peak Signal Noise Ratio (PSNR)*.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini perlu dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

- a. Objek yang digunakan yaitu keramik ekspor dari Klampok-Banjarnegara.
- b. Kualitas yang diujikan adalah ada atau tidaknya keretakan pada keramik.
- c. Alat yang digunakan yaitu radiografi digital di laboratorium fisika medik Universitas Negeri Semarang.
- d. Metode yang digunakan adalah metode *Radiografi Non-Destructive testing*.
- e. Pengolahan citra hasil eksposi dengan *software matlab2007b* berbasis *GUI Interface*.
- f. Pengukuran kualitas citra dengan mencari nilai PSNR paling baik sesuai dengan pengamatan hasil filterisasi deteksi tepi.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mendeteksi keretakan pada keramik menggunakan metode *RNDT*.
- b. Mengetahui faktor eksposi (tegangan dan jarak) pada keramik yang paling optimum untuk mendapatkan kualitas gambar yang paling baik.
- c. Mendapatkan filter deteksi tepi yang tepat untuk menghasilkan citra radiografi yang paling baik berdasarkan pengukuran nilai PSNR.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk mengurangi kerugian bagi produsen dan konsumen karena dengan adanya pendeteksian keretakan pada keramik dapat meminimalisir kerusakan pada keramik, mengefisiensi waktu pembuatan keramik bagi produsen serta meningkatkan kualitas keramik ekspor.

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.

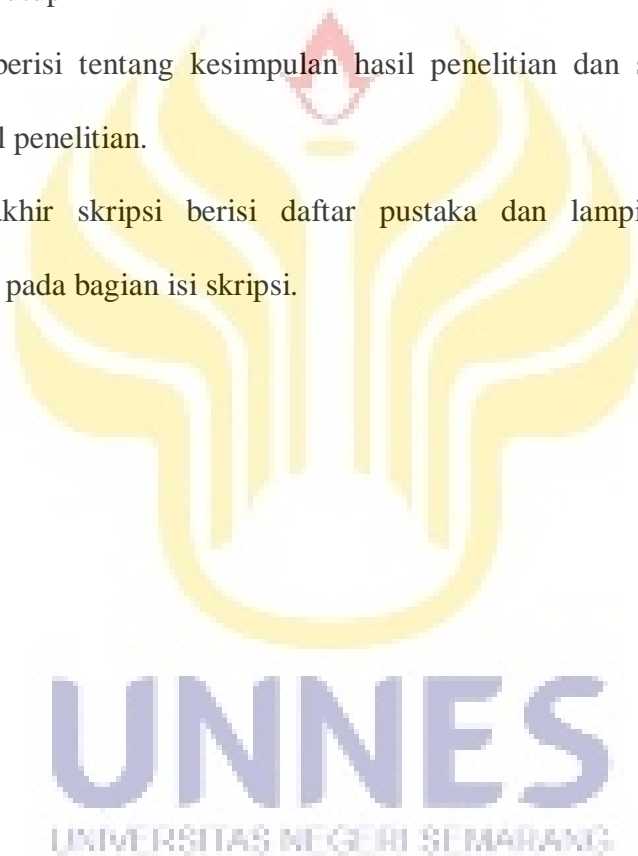
4. Bab 4 Hasil Penelitian dan Pembahasan

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

Sinar-X ditemukan oleh Roentgen pada tahun 1895 ketika bekerja menggunakan tabung-tabung Geiger dan menemukan bahwa sinar dari tabung dapat menembus bahan yang tak tembus cahaya karena memiliki sifat:

1. Memiliki daya tembus yang sangat besar, dapat menembus logam dan zat lainnya.
2. Menghitamkan pelat fotografi

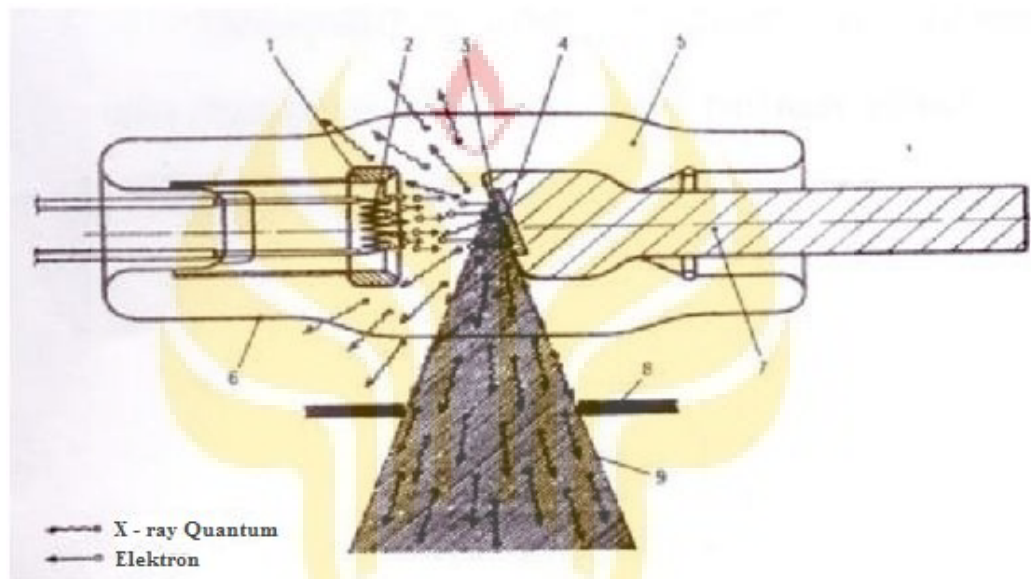
Rontgen menemukan bahwa sinar dari tabung dapat menembus bahan yang tak tembus cahaya dan dapat mengaktifkan layar pendar atau film foto. Sinar ini berasal dari titik dimana elektron dalam tabung mengenai sasaran di dalam tabung tersebut atau tabung kacanya sendiri (Beiser, 1999:59).

Katoda yang dipanaskan oleh filamen memancarkan elektron dari permukaanya. Elektron-elektron tersebut tertarik menuju anoda, karena adanya beda potensial. Beda potensial ini berkisar antara beberapa kilovolt sampai puluhan kilovolt. Elektron dipercepat oleh medan listrik antara katoda dan anoda. Apabila beda potensial antara anoda dan katoda besarnya V_0 Volt, maka pada saat elektron mengenai permukaan anoda, besarnya energi kinetik adalah:

$$E_k = e V_0 \quad (2.1)$$

2.1.1 Konsep Dasar Sinar-X

Sinar-X terjadi karena pemberian beda potensial antara katoda dan anoda hingga beberapa kilovolt pada tabung sinar-X (Gambar 2.1). Perbedaan potensial yang besar ini mampu menimbulkan arus elektron sehingga elektron-elektron yang dipancarkan akibat pemanasan filamen akan dipercepat menuju target dalam sebuah tabung hampa.



Gambar 2.1 Skema tabung sinar-X (Hoxster, 1982)

Keterangan gambar:

- | | | |
|----------------|-------------------|-------------------|
| 1. Katoda | 4. Keping wolfram | 7. Anoda |
| 2. Filamen | 5. Ruang hampa | 8. Diafragma |
| 3. Bidangfokus | 6. Selubung | 9. Berkas sinar-X |

Prinsip kerja dari pembangkit sinar-X dapat dijelaskan sebagai berikut, beda potensial yang diberikan antara katoda dan anoda menggunakan sumber yang bertegangan tinggi. Produksi sinar-X dihasilkan dalam suatu tabung berisi suatu perlengkapan yang diperlukan untuk menghasilkan sinar-X.

Elektron bebas terjadi karena emisi dari filamen yang dipanaskan. Dengan sistem fokus, elektron bebas yang dipancarkan terpusat menuju anoda. Gerakan elektron ini akan dipercepat dari katoda menuju anoda bila antara katoda dan anoda diberi beda potensial yang cukup besar. Gerakan elektron yang berkecepatan tinggi dihentikan oleh suatu bahan yang ditempatkan pada anoda. Tumbukan antara elektron dengan anoda ini menghasilkan sinar-X, pada tumbukan antara elektron dengan sasaran akan ada energi yang hilang. Energi ini akan diserap oleh sasaran dan berubah menjadi panas sehingga bahan sasaran akan mudah memuai. Untuk menghindarinya, bahan sasaran dipilih yang berbentuk padat. Bahan yang biasa digunakan sebagai anoda adalah platina, wolfram, atau tungsten.

Untuk menghasilkan energi sinar-X yang lebih besar, tegangan yang diberikan ditingkatkan sehingga menghasilkan elektron dengan kecepatan yang lebih tinggi. Dengan demikian energi kinetik yang dapat diubah menjadi sinar-X juga lebih besar.

Karakteristik gelombang elektromagnetik ditentukan oleh panjang gelombang, frekuensi, dan kecepatan. Kecepatan rambat gelombang elektromagnetik di udara untuk semua panjang gelombang adalah sama yaitu sama dengan kecepatan dalam ruang hampa $c = 3 \times 10^8$ m/det.

$$c = \lambda f \quad (2.2)$$

dengan:

c : Kecepatan rambat dalam hampa (m/s) λ : Panjang gelombang (m)

f : Frekuensi gelombang (Hz)

Pemancaran energi radiasi elektromagnetik oleh sumbernya tidak berlangsung secara kontinyu melainkan secara terputus-putus (diskrit), sehingga berupa paket yang

harganya tertentu yang disebut dengan kuantum/foton. Besar energi kuantum tergantung pada frekuensi gelombang.

$$E = h f \quad (2.3)$$

dengan:

E : Energi foton (eV)

h : Tetapan Max Planck (Joule/s)

f : Frekuensi gelombang (Hz)

2.1.2 Mekanisme Sinar-X

Mekanisme terjadinya sinar-X dan situasi fisik yang terjadi adalah sebagai berikut:

1. Pada anoda elektron yang datang pada permukaan anoda memiliki energi tinggi, elektron tersebut kemudian melanjutkan gerakannya dalam logam anoda.
2. Terdapat gaya interaksi yang berasal dari elektromagnetisme antara elektron bebas dalam logam dengan elektron yang datang.
3. Melalui tumbukan beruntun, elektron kehilangan energinya secara perlahan. Dalam logam (anoda) beberapa susunan kristal (*polikristal*) energi kinetik diubah menjadi 2 macam energi, yaitu:
 - a. Akibat perlambatan (*Bremsstrahlung*) terjadi radiasi elektromagnetik (sinar-X).
 - b. Tersimpan sebagai kalor dalam logam berupa energi getaran kisi-kisi kristal.
4. Karena prosesnya beruntun maka spektrum panjang gelombang sinar-X adalah kontinyu.

5. Bagian-bagian yang tidak kontinyu berasal dari interaksi elektron dengan ion karena terjadi perubahan struktur ion tersebut.

Secara fisika, energi kinetik elektron $E_k = eV$ bertransformasi menjadi satu foton berenergi hf_{max} dengan transformasi energi yang terjadi dalam proses tunggal, maka kekekalan energi memberikan hubungan :

$$E_k = eV \quad (2.4)$$

$$eV = hf_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}} \quad (2.5)$$

Sehingga panjang gelombang dapat ditulis :

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eV} = \frac{1,24 \times 10^{-6} \text{ Volt.m}}{V} \quad (2.6)$$

Sinar-X yang dipancarkan dari sistem pembangkit sinar-X merupakan pancaran foton dari interaksi elektron dengan inti atom di anoda. Pancaran foton tiap satuan luas disebut penyinaran atau *exposure*. Foton yang dihasilkan dari sistem pembangkit sinar-X dipancarkan ketika elektron menumbuk anoda. Beda tegangan antara katoda dan anoda menentukan besar energi sinar-X, juga mempengaruhi pancaran sinar-X.

Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang pendek. Hal ini dipertegas dengan penelitian Friedsish dan Knipýing pada tahun 1912, yang mengemukakan bahwa panjang gelombang sinar-X sama dengan sinar ultraviolet ($\lambda = 10^6 \text{ m}$) yaitu gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang pendek (Van Der Plaats, 1972).

Interaksi dengan materi terjadi bila sinar-X ditembakkan pada suatu bahan. Sinar-X yang ditembakkan mempunyai energi yang lebih tinggi sehingga mampu mengeksitasi elektron-elektron dalam atom sasarannya.

2.1.3 Interaksi Sinar-X Dengan Materi

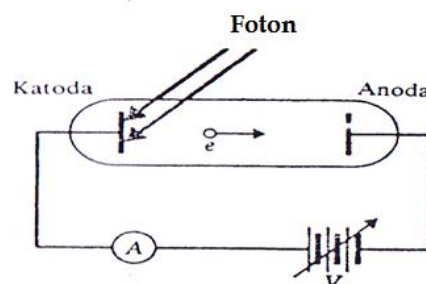
Interaksi sinar-X dengan materi akan terjadi bila sinar-X yang dipancarkan dari tabung dikenakan pada suatu objek. Sinar-X yang terpancar merupakan panjang gelombang elektromagnetik dengan energi yang cukup besar. Gelombang elektromagnetik ini dinamakan foton. Foton ini tidak bermuatan listrik dan merambat menurut garis lurus.

Bila sinar-X mengenai suatu objek, akan terjadi interaksi antara foton dengan atom-atom pada objek tersebut. Interaksi ini menyebabkan foton akan kehilangan energi yang dimiliki oleh foton. Besarnya energi yang diserap tiap satuan massa dinyatakan sebagai satuan dosis serap, disingkat Gray. Dalam jaringan tubuh manusia, dosis serap dapat diartikan sebagai adanya 1 joule energi radiasi yang diserap 1 kg jaringan tubuh.

$$1 \text{ Gray} = 1 \text{ joule / kg}$$

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).

2.1.3.1 Efek Foto Listrik



Gambar 2.2 Efek fotolistrik (Krane, 1992)

Dalam proses foto listrik (Gambar 2.2) energi foton diserap oleh atom yaitu elektron, sehingga elektron tersebut dilepaskan dari ikatannya dengan atom. Elektron yang keluar dari atom disebut foto elektron. Peristiwa efek foto listrik ini terjadi pada energi radiasi rendah ($E < 1 \text{ MeV}$) dan nomor atom besar.

Bila foton mengenai elektron dalam suatu orbit dalam atom seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2, sebagian energi foton (Q) digunakan untuk mengeluarkan elektron dari atom dan sisanya dibawa oleh elektron sebagai energi kinetiknya. Seluruh energi foton dipakai dalam proses tersebut.

$$E = hf = Q + E_K \quad (2.7)$$

dengan:

Q : energi ikat elektron

E : energi (joule)

E_K : energi kinetik

h : konstanta plank ($6,627 \times 10^{-34} \text{ J}$)

f : frekwensi (hertz)

2.1.3.2 Efek Compton

Foton berinteraksi dengan elektron yang dianggap bebas (tenaga ikat elektron \ll energi foton datang)

Dalam suatu tumbukan antara sebuah foton dan elektron bebas maka tidak mungkin semua energi foton dapat dipindahkan ke elektron jika momentum dan energi dibuat kekal. Menurut hukum kekekalan energi:

$$E = mc^2 \quad (2.8)$$

Menurut hukum kekekalan momentum, semua momentum foton (p) harus dipindahkan ke elektron, jika foton tersebut menghilang

$$p = \frac{E}{c} = mv \quad (2.9)$$

dengan:

E : energi (Joule)

p : momentum

m : massa (Kg)

v : kecepatan elektron (m/dtk)

c : Kecepatan cahaya (m/dtk)

2.1.3.3 Produksi Pasangan

Sebuah foton yang energinya lebih dari 1,02 MeV, saat bergerak dekat dengan sebuah inti, secara spontan akan menghilang dan energinya akan muncul kembali sebagai suatu positron dan elektron. Kehilangan energi dari sinar-X bila melewati suatu media (zat) terjadi karena tiga proses utama yaitu efek foto fotolistrik, 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), sedang efek produksi pasangan timbul karena interaksi dengan medan listrik dari inti atom (Suyatno, 2008).

Dua partikel yang terbentuk yaitu elektron (e^-) dan positron (e^+) memiliki kesamaan dalam hal massa yaitu $9,1 \times 10^{-31}$ kg tetapi muatannya berbeda tanda, elektron ($-1,6 \times 10^{-19}$) Coulomb sedangkan positron ($+ 1,6 \times 10^{-19}$) Coulomb. Bila elektron dan positron berada dekat partikel lain maka akan berubah menjadi 2 foton yaitu:

$$e^- + e^+ = 2 hf \quad (2.10)$$

dengan:

e^- : elektron

h : konstanta planck ($6,627 \times 10^{-34}$ J.s)

e^+ : positron

f : frekwensi (hertz)

Energi total yang terjadi bila 2 pasangan itu terbentuk, yaitu:

$$E_{total} = E_k^+ + m_0 c^2 + E_k^- + m_0 c^2 \quad (2.11)$$

$$E_{total} = E_k^+ + E_k^- + 2m_0c^2 \quad (2.12)$$

dengan:

E_{total} : energi total (joule) E_k^+ : energi kinetik positron

c : kecepatan cahaya E_k^- : energi kinetik elektron

m_0 : massa diam elektron ($9,1 \times 10^{-31}$ Kg)

Energi minimum yang diperlukan untuk terbentuknya pasangan itu adalah bila E_k^+ dan $E_k^- \approx 0$, yang mengandung pengertian bahwa:

$$E_{total} = 2m_0c^2, \text{ minimum} \quad (2.13)$$

Apabila pasangan elektron dan positron tercipta dari satu foton sinar-X maka energi foton itu harus memiliki harga minimum:

$$E = hf = 2m_0c^2 = 1,02 \text{ MeV} \quad (2.14)$$

Jadi bila ditinjau dari segi foton cahaya maka energi minimum yang diperlukan adalah 1,02 MeV. Produksi pasangan atau transformasi foton menjadi elektron dan positron tidak dapat begitu saja terjadi dalam ruang bebas, tetapi harus dalam kehadiran medan inti (*nukleus*).

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_o , tebal obyek x dan kepadatan obyek (tulang) λ . Oleh karena adanya kehilangan energi foton didalam tebal x dari lapisan, maka akan terjadi pengurangan intensitas. Hubungan antara I_o dan I_x adalah sebagai berikut (Susilo, dkk, 2010):

$$I_x = I_o \exp(-\lambda x) \quad (2.15)$$

dengan :

I_x : intensitas sinar-X yang menembus media

I_0 : intensitas sinar-X mula-mula yang datang ke media

λ : koefisien absorpsi linier

x : tebal materi

2.1.4 Radiografi Sinar-X

Radiografi sinar-X adalah ilmu yang mempelajari citra suatu objek yang diradiasi dengan sinar-X. Bila sinar-X dilewatkan pada suatu objek, maka sebagian radiasi yang ada akan diteruskan sehingga citra objek dapat direkam pada film. Satuan yang biasa digunakan untuk penyinaran radiografi adalah Rontgen, disingkat R. Satu Rontgen dapat diartikan sebagai sejumlah sinar-X agar menghasilkan ion-ion yang membawa muatan satu stat coulomb tiap centimeter kubik udara dengan suhu nol derajat celsius pada tekanan 760 mmhg.

$$1R = \frac{1 \text{ stc}}{\text{cm}^2} \quad (2.16)$$

Satu Rontgen dari radiasi foton mempunyai energi rata-rata antara 0,1 Mev sampai 3,0Mev yang mampu menghasilkan dosis serap sebesar 0,96 rad. Dengan demikian dapat dikatakan menghasilkan dosis sebesar 1 rad. Jadi, 1 R = 1 rad. Keluaran sistem generator sinar-X dipengaruhi oleh arus, waktu ekspos, besarnya tegangan dan jarak target. Secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\text{Keluaran} = \frac{k(i.t)V^2}{d^2} \quad (2.17)$$

dengan :

k : konstanta penyinaran

V : Potensial tabung sinar-X

t : waktu penyinaran

i : arus tabung

d : jarak target terhadap sumber radiasi

Potensial (V), Arus (i) dan waktu (t) mempengaruhi densitas bayangan.

Pemilihan potensial (kV) yang terlalu rendah akan menyebabkan penyinaran yang diberikan tidak mampu menghasilkan densitas pada film. Sedangkan pemilihan potensial (V) yang terlalu tinggi akan menimbulkan gambar film yang buruk sehingga informasi yang diperlukan hilang (kabur).

Waktu penyinaran digunakan untuk menentukan lamanya penyinaran. Hal ini terutama dimaksudkan untuk mengurangi ketidaktajaman gambar yang dihasilkan di film karena gerakan objek yang diambil. Dengan waktu penyinaran yang minimal dapat digunakan untuk mengontrol densitas rata-rata bayangan. Bila waktu penyinaran yang dipilih ditingkatkan atau diperbesar akan mengakibatkan gambar yang dihasilkan di film menjadi kurang tajam. Hal ini terjadi bila ada faktor gerakan dari objek yang diradiasi. Hubungan antara variasi waktu penyinaran dengan potensial dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{it_1}{it_2} = \left[\frac{V_2}{V_1} \right]^4 \quad (2.18)$$

dengan:

i : arus listrik (mA)

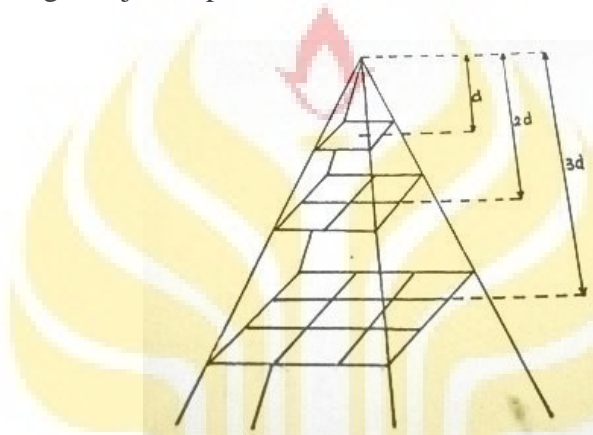
V_2 : tegangan pada keadaan 2 (kV)

t_1 : waktu ekspos pada keadaan 1 (ms)

t_2 : waktu pada keadaan 2 (ms)

V_1 : tegangan pada keadaan 1 (kV)

Radiasi sinar-X dipancarkan dari fokus tabung sinar-X dalam arah garis lurus. Pancaran itu kemudian didistribusikan dalam jarak yang semakin besar. Hal ini menyebabkan intensitas sinar-X itu menjadi berkurang dengan perbandingan kuadrat jarak. Bila jarak yang diberikan diperbesar menjadi dua kalinya, maka intensitasnya berkurang menjadi seperempatnya, dan bila jaraknya diperbesar tiga kali lipat maka intensitasnya berkurang menjadi sepersembilan dari intensitas semula (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Kurva distribusi intensitas sinar-X (Meredith, 1977)

Keterangan:

d : Jarak kolimator dengan meja objek.

Hubungan antara waktu ekspos dengan jarak sumber radiasi ke film dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{it_1}{it_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad (2.19)$$

dengan :

i : arus listrik yang diberikan (mA) t_1 : waktu keadaan 1 (ms)

d_2 : jarak akhir sumber radiasi ke film (cm) t_2 : waktu keadaan 2 (ma)

d_1 : jarak mula mula sumber radiasi ke film (cm)

Dari persamaan (2.18) dan (2.19) dapat dinyatakan hubungan antara tegangan tabung dan jarak sumber radiasi:

$$\frac{d_1^2}{d_2^2} = \left[\frac{V_2}{V_1} \right]^4 \quad (2.20)$$

Perubahan log penyinaran mempengaruhi densitas film (Daerah 1). Pengaruh yang terjadi pada daerah ini sangat kecil. Densitas pada daerah ini disebabkan oleh adanya *basic fog* (densitas latar belakang) yang dimiliki setiap film. Pada daerah 2 (daerah *toe*), terjadi peningkatan log penyinaran. Densitas bertambah secara perlahan. Daerah ini menunjukkan efek penyinaran. Pada daerah 2-3 (*straight-line part*), densitas meningkat secara linier terhadap log penyinaran. Kemiringannya merupakan gradien film (kontras film). Kontras film merupakan kemampuan film untuk membedakan densitas yang disebabkan oleh dua penyinaran yang hampir sama. Secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$tg \alpha = \frac{D_2 - D_1}{\log E_2 - \log E_1} \quad (2.21)$$

dengan :

$tg \alpha$: gradien film

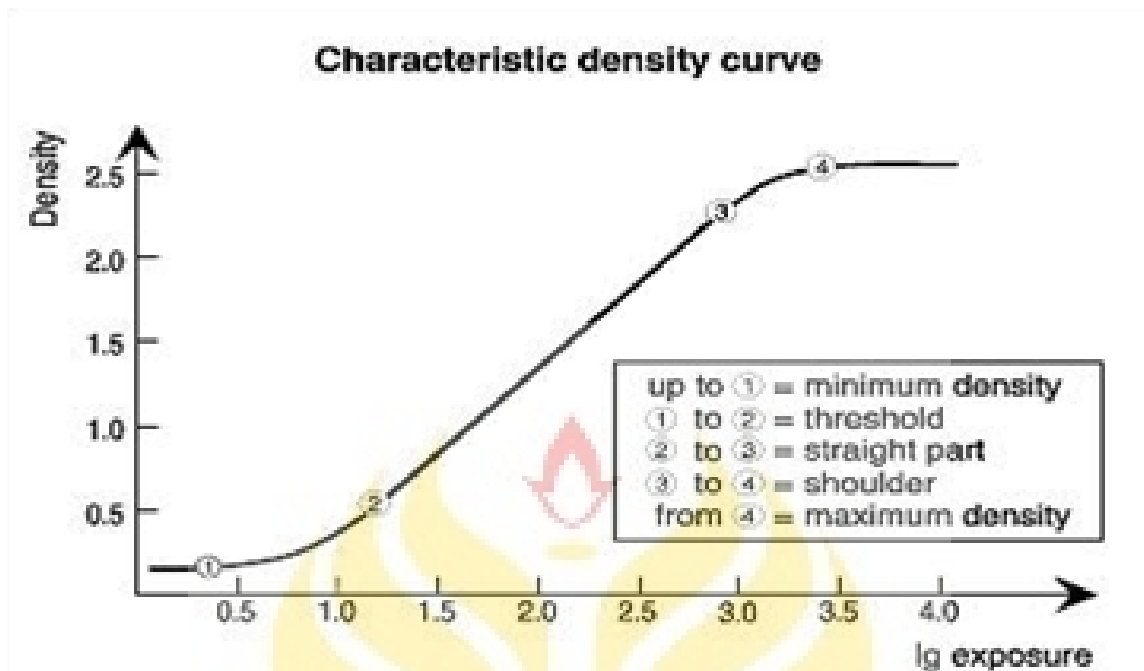
D_1 : densitas hasil penyinaran pada keadaan 1

D_2 : densitas hasil penyinaran pada keadaan 2

E_1 : penyinaran pada keadaan 1 (J/m^2)

E_2 : penyinaran pada keadaan 2 (J/m^2)

Pada daerah 3-4 (daerah *shoulder*), densitas meningkat dengan intensitas penyinaran yang sangat tinggi (Gambar 2.4).



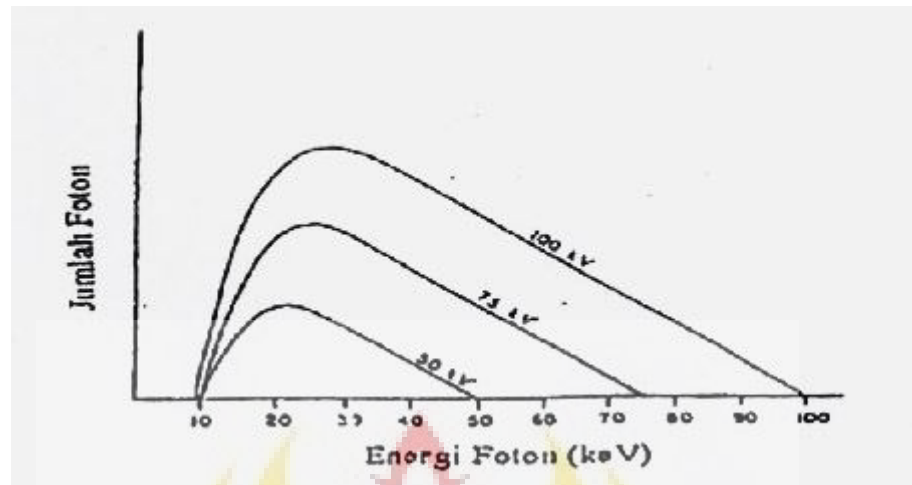
Gambar 2.4 Kurva karakteristik film (Subianto, 1987)

2.1.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sinar-X

Faktor-faktor yang memengaruhi intensitas Sinar-X yang dihasilkan dari suatu pemaparan atau disebut faktor eksposi adalah tegangan tabung, arus tabung, jarak fokus ke film, waktu eksposi.

2.1.5.1. Tegangan Tabung

Tegangan tabung sinar-X atau beda potensial antara anoda dengan katoda selain menentukan energi maximum sinar-X yang dihasilkan, juga menentukan paparan sinar-X (Gambar 2.5) (Sprawls, 1987).



Gambar 2.5 Spektrum sinar-X pada tegangan tabung yang berbeda (Sprawls, 1987).

Paparan sinar-X kira-kira sebanding dengan faktor pangkat dua dari besarnya tegangan tabung yang digunakan (Meredith, 1977). Dengan kata lain jika tegangan tabung atau energi sinar-X dinaikkan dua kali lipat maka paparan sinar-X akan menjadi empat kalinya sehingga daya tembusnya semakin besar:

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \left[\frac{V_1}{V_2} \right]^2 \quad (2.22)$$

dengan:

V_1 : tegangan pada keadaan 1 (Volt) I_1 : Intensitas pada keadaan 1 (mA)

V_2 : tegangan pada keadaan 2 (Volt) I_2 : Intensitas pada keadaan 2 (mA)

Penambahan tegangan tabung akan menambah jumlah pancaran radiasi dari target atau meningkatkan intensitas radiasi yang dipancarkan (Chesney, 1980).

Pemilihan tegangan tabung (V) yang terlalu rendah akan menyebabkan penyinaran yang diberikan tidak mampu menghasikan densitas pada film sedangkan pemilihan tegangan tabung yang terlalu tinggi akan menimbulkan radiograf yang buruk sehingga informasi yang diperlukan hilang (kabur).

2.1.5.2. Arus Tabung

Arus tabung didefinisikan sebagai jumlah elektron persatuan waktu yang bergerak dari katoda ke anoda. Paparan sinar-X yang terjadi sebanding dengan besarnya arus tabung (Merredith, 1977). Hubungan ini dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{i_1}{i_2} \quad (2.23)$$

dengan:

I_1 : intensitas sinar-X pada keadaan 1 i_1 : kuat arus keadaan 1 (A)

I_2 : intensitas sinar-X pada keadaan 2 i_2 : kuat arus keadaan 2 (A)

2.1.5.3. Jarak Fokus ke Film (FFD)

Jarak fokus ke film (FFD) adalah jarak antara titik sinar-X (fokus) dengan letak film radiograf. Perubahan pada FFD akan selalu berakibat pada perubahan nilai paparan sinar-X yang mencapai film, karena intensitas sinar-X berbanding terbalik dengan jarak (*invers square law*). Apabila d merupakan jarak dari fokus ke film maka paparan sinar-X dapat dituliskan menjadi (Chesney, 1989):

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{d_2^2}{d_1^2} \quad (2.24)$$

2.1.5.4. Waktu Eksposi

Waktu exposi menunjukkan lamanya penyinaran, semakin lama waktu penyinaran semakin besar sinar-X yang dihasilkan. Waktu eksposi sebanding dengan intensitas. Hubungan ini dituliskan:

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{i_1}{i_2} \quad (2.25)$$

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 efektifitas biaya. *NDT* memungkinkan bagian dan bahan-bahan yang akan diperiksa dan diukur tanpa merusak.

Tujuan adanya aktivasi *NDT* diantaranya yaitu mendeteksi cacat / *discontinuity* (di atas permukaan, di bawah permukaan, dan di dalam suatu material), untuk mengukur geometri benda, dan menentukan komposisi kimia material.

Pengujian dengan menggunakan *NDT* ini banyak macam – macam metodenya. Dalam setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan masing – masing. Dari setiap kelebihan dan kekurangan setiap metode, bisa disimpulkan kelebihan dan kekurangan dalam penggunaan *NDT*.

Keuntungan terbesar jika kita menggunakan *NDT* (*Non Distructive Testing*) adalah tidak memerlukan waktu yang lama dan juga biaya yang relatif tidak terlalu besar dan keuntungan yang lain sebagai berikut (Yudo & Jokosisworo, 2007):

1. Tidak memerlukan peralatan yang terlalu banyak.
2. Dapat mengetahui cacat pada permukaan benda berpori serta dapat mengetahui letak kecacatan yang ada pada material.
3. Peka terhadap kecacatan yang kecil.

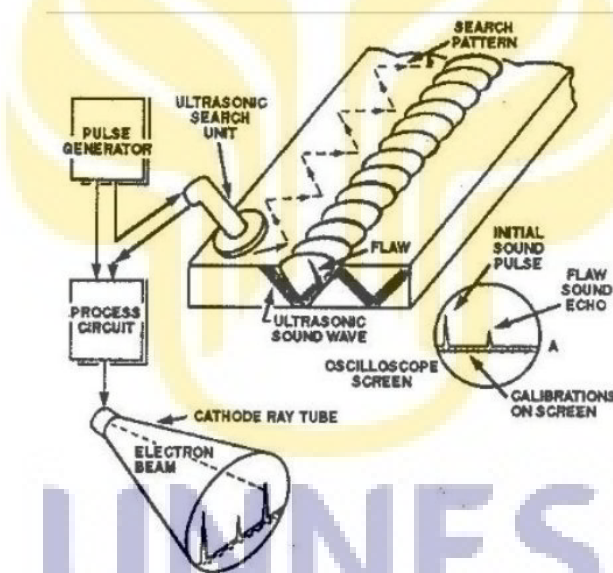
Selain memiliki berbagai kelebihan, metode *NDT* juga masih memiliki kekurangan. Kekurangan yang paling terlihat dari penggunaan *NDT* ini adalah (Yudo & Jokosisworo, 2007) :

1. Pengujian hanya terbatas pada spesimen yang diuji.
2. Membutuhkan tingkat kebersihan yang tinggi.
3. Hanya terbatas menguji pada permukaan yang kasar atau berpori.

Macam - macam metode *non-destruktive testing* adalah sebagai berikut:

1. *Ultra sonic testing (Volumetric Examination Method)*

Ultrasonic testing adalah sebuah *device* yang mampu mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dan juga sebaliknya (Fathoni, Phirngadi & Rivai, 2013).



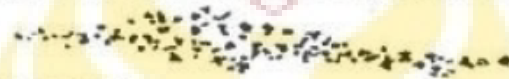



Gambar 2.6 *Ultrasonic Inspection* (Yudo & Jokosisworo, 2007)

Pengujian ultrasonik (Gambar 2.6) dapat dilakukan untuk hampir semua bahan, menggunakan metode gelombang suara dengan frekuensi tinggi yang tidak dapat didengar manusia. Gelombang ultrasonik yang digunakan memiliki frekuensi 0.5–20 MHz. Gelombang suara yang terpengaruh jika ada *void*, retak atau delaminasi pada material (Naryono & Suharyadi, 2012).

2. *Visual inspection (Surface Examination Method)*

Metode ini merupakan pemeriksaan material yang dilakukan tanpa alat bantu. Metode ini bertujuan menemukan cacat atau retak permukaan dan korosi. Dalam hal ini adalah retak yang dapat dilihat dengan mata telanjang atau dengan bantuan lensa pembesar ataupun boroskop (Naryono & Suharyadi, 2012).

3. *Liquid penetrant (Surface Examination Method)*

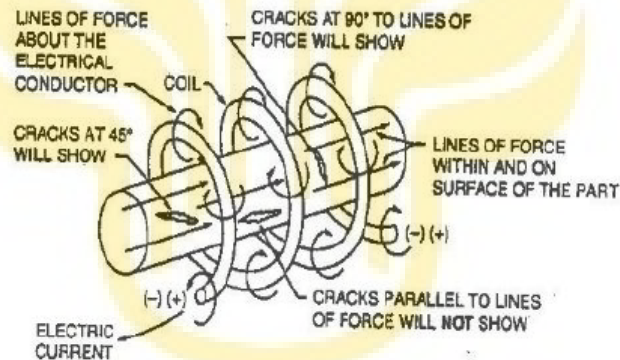
IF YOU SEE:	INDICATION	YOU HAVE:
A CONCENTRATION OF RED SPOTS		PITS AND POROSITY
A CONTINUOUS STREAK WHICH BLEEDS UP RAPIDLY		LARGE CRACK OR OPENING
A BROKEN LINE OF DOTS WHICH TAKES SEVERAL MINUTES TO COME UP		CRACK OR COLD SHUT
A SERIES OF RED DOTS FORMING AN IRREGULAR LINE		FATIGUE CRACK, PARTIAL WELD OR LAP

Gambar 2.7 *Liquid Penetrant Inspection* (Yudo & Jokosisworo, 2007)

Metode ini (Gambar 2.7) digunakan untuk menemukan cacat di permukaan terbuka pada komponen solid, baik logam maupun non logam. Melalui metode ini cacat pada material akan terlihat jelas. Caranya adalah dengan memberikan cairan berwarna terang (*penetrant*) pada permukaan yang diinspeksi. Cacat akan nampak jelas jika perbedaan warna penetrant dengan latar belakang cukup kontras. (Naryono & Suharyadi, 2012).

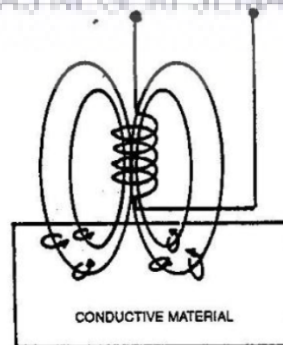
4. *Magnetic particle (Surface Examination Method)*

Metode pengujian ini didasarkan atas prinsip bahwa garis-garis gaya medan magnet (*magnetic flux*) pada suatu objek atau material yang dimagnetisasi akan terdistorsi secara lokal karena adanya diskontinuitas pada material (Gambar 2.8). Akibat dari penyimpangan ini, sebagian dari medan magnet daerah yang mengalami diskontinuitas akan meninggalkan daerah ini dan akan kembali pada daerah yang tidak mengalami diskontinuitas, sehingga akan terjadi kerusakan aliran garis-garis gaya (Putra, 2006). Kelemahan metode ini hanya bisa diterapkan untuk material ferromagnetik (Naryono & Suharyadi, 2012).



Gambar 2.8 *Magnetic Particle Inspection* (Yudo & Jokosisworo, 2007)

5. *Edy current (Surface Examination Method)*



Gambar 2.9 *Edy Current* (Yudo & Jokosisworo, 2007)

Inspeksi ini (Gambar 2.9) memanfaatkan prinsip elektromagnet. Prinsipnya arus listrik dialirkan pada kumparan untuk membangkitkan medan magnet di dalamnya. Jika medan magnet ini dikenakan pada benda logam yang akan diinspeksi, maka akan terbangkit arus eddy. Arus eddy kemudian menginduksi adanya medan magnet. Medan magnet pada benda akan menginduksi medan magnet pada kumparan dan mengubah impedansi bila ada cacat. Keterbatasan dari metode ini yaitu hanya dapat diterapkan pada permukaan yang dapat dijangkau. Selain itu metode ini juga diterapkan hanya pada bahan logam saja (Naryono & Suharyadi, 2012).

6. *Thermography – infrared testing (Condition Monitoring Method)*

Termografi memungkinkan profil termal item, mesin atau bangunan yang akan disajikan dalam bentuk grafis yang memungkinkan penilaian suhu bekerja untuk diturunkan. Dari metode ini, variasi dalam bahan atau komponen suhu diidentifikasi, memungkinkan batas bekerja atau tindakan korektif untuk diidentifikasi

7. *Vibration analisis (Condition Monitoring Method)*

Mesin rotary menghasilkan getaran suara. Dengan memonitor frekuensi, dll amplitudo getaran kondisi mesin dapat diperkirakan

8. *Radiography non-destruktive testung (Volumetric Examination Method)*

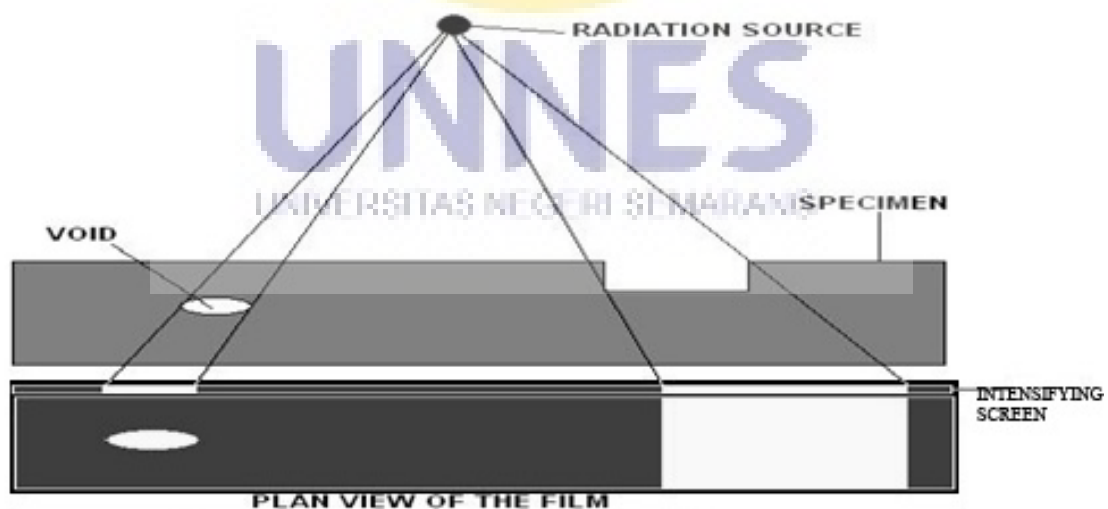
Metode *NDT* ini dapat untuk menemukan cacat pada material dengan menggunakan sinar-X dan sinar gamma. Prinsipnya, sinar-X dipancarkan menembus material yang diperiksa. Saat menembus objek, sebagian sinar akan diserap sehingga intensitasnya berkurang. Intensitas akhir kemudian direkam pada film yang sensitif. Jika ada cacat pada material maka intensitas yang terekam pada film tentu akan

bervariasi. Hasil rekaman pada film inilah yang akan memperlihatkan bagian material yang cacat (Naryono & Suharyadi, 2012).

2.2.1 *Radiography Non-Destructive Testing*

Radiografi adalah metode *NDT* (Gambar 2.10) yang menggunakan penetrasi radiasi. Hal ini didasarkan pada penyerapan diferensial radiasi oleh bagian bawah pemeriksaan. Dalam pemeriksaan ini sumber radiasi dapat dari sumber radioaktif, biasanya Iridium-192, Cobalt-60, Caesium-137, yang memancarkan sinar gamma atau dari 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 beberapa dari mereka memeriksa volume spesimen; beberapa hanya mengungkapkan cacat permukaan. Salah satu metode *NDT* yang terbaik didirikan dan banyak digunakan adalah penggunaan radiografi sinar-X dan sinar gamma untuk menghasilkan radiograf dari spesimen, yang menunjukkan perubahan ketebalan, cacat (internal dan eksternal), rincian perakitan.



Gambar 2.10 Tata Letak Pemeriksaan RNDT (wikipedia.org)

Saat sinar-X atau sinar gamma menembus materi disebabkan oleh struktur internal materi melalui penyerapan dan proses hamburan. Jika struktur internal homogen, penyerapan dan proses hamburan akan seragam di seluruh materi dan radiasi yang dihasilkan dari materi akan berintensitas seragam. Jika struktur internal heterogen maka proses penyerapan dan proses hamburan akan memiliki hasil intensitas yang berbeda.

Radiasi ini kemudian direkam oleh media perekam yang cocok, biasanya film radiografi. Ketika film diproses, gambar gelap seragam akan muncul di film yang menunjukkan homogenitas material yang diuji. Situasi ini berbeda untuk kasus bahan yang mengandung diskontinuitas atau berbeda dalam ketebalan. Secara umum, penyerapan radiasi oleh bahan tergantung pada ketebalan efektif yang ditembus oleh radiasi sinar-X.

Diskontinuitas seperti retak, inklusi terak, porositas, kurangnya penetrasi dan kurangnya fusi mengurangi ketebalan efektif material yang diuji. Dengan demikian, kehadiran diskontinuitas tersebut menyebabkan radiasi mengalami sedikit penyerapan dibandingkan dengan materi yang ada di daerah dengan diskontinuitas. Akibatnya, di daerah yang mengandung diskontinuitas lebih, radiasi keluar, dicatat oleh film dan membentuk gambar gelap yang mewakili struktur internal material.

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

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. Namun, radiasi yang digunakan untuk radiografi berpotensi membahayakan radiografer serta anggota masyarakat. Karena sifat berbahaya, penggunaan radiasi, termasuk untuk radiografi industri secara ketat dikontrol oleh Otoritas Pengatur (IAEA, 2008).

Keuntungan menggunakan metode *Radiography Non Destructive Testing (RNDT)* :

1. Berlaku hampir untuk semua bahan.
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 fabrikasi.
4. Banyak peralatan portabel.

Keterbatasan menggunakan metode *Radiography Non Destructive Testing (RNDT)*

1. Radiasi yang digunakan adalah berbahaya bagi pekerja dan anggota masyarakat
2. Metode Mahal (biaya peralatan dan aksesoris lain yang berkaitan dengan keselamatan radiasi relatif mahal)
3. Beberapa peralatan yang besar
4. Untuk radiografi sinar X, perlu listrik
5. Membutuhkan dua sisi aksesibilitas (sisi film dan sisi sumber)

6. Hasil tidak seketika. Hal ini membutuhkan pemrosesan film, interpretasi dan evaluasi
7. Membutuhkan personil yang sangat terlatih dalam subjek radiografi serta keselamatan radiasi.

Teknik radiografi dikategorikan sebagai gambar laten atau *real-time*. kategorisasi ini relatif terhadap foto yang ditampilkan. Gambar laten membutuhkan media perekam yang akan membuat gambar ketika mengalami proses pembangunan yang spesifik. Proses ini mungkin memerlukan reaksi kimia dengan media perekam. Radiografi Film adalah contoh dari teknik gambar laten. Radiografi *real-time* adalah proses yang sederhana dengan layar pencitraan, bila terkena medan radiasi, memancarkan cahaya yang menciptakan gambar yang dilihat oleh mata manusia atau dengan kamera. Fluoroskopi adalah contoh dari *real-time* radiografi. Terlepas dari jenis pencitraan radiografi yang digunakan, prinsip-prinsip geometris berlaku untuk radiografi. Karena-Sinar X dan sinar gamma mematuhi hukum umum dari cahaya, pembentukan bayangan mungkin hanya dijelaskan dalam hal cahaya. Penerapan prinsip-prinsip geometris pembentukan bayangan untuk radiografi mengarah ke lima aturan umum:

- 1) Focal spot harus sekecil mungkin.

Ada hubungan langsung antara ukuran focal spot sumber radiasi dan definisi dalam radiograf. Panjang *source film* akan membantu dalam menunjukkan kerincian gambar ketika sumber radiasi yang besar yang digunakan, tapi hal ini menguntungkan untuk menggunakan focal tempat terkecil untuk eksposur yang dibutuhkan.

- 2) Jarak antara sumber radiasi dan bahan diperiksa harus selalu sama besar.

Jarak *source film* digunakan dalam radiografi material tebal harus relatif panjang. Hal ini akan memaksimalkan ketajaman gambar yang berada di sisi nearsource dari objek yang diradiografi. Pada jarak jauh, radiografi memperbaiki gambar menjadi lebih aktual (jelas).

- 3) Film harus sedekat mungkin dengan objek yang diradiografi.

Dalam prakteknya, film (di kaset atau paparan dudukannya) ditempatkan dalam kontak dengan objek.

- 4) Sinar sentral dari sumber radiasi harus tegak lurus film karena mungkin untuk terjadi hubungan spasial.
- 5) Sensitivitas radiografi tergantung pada efek gabungan dari dua faktor independen, kontras radiografi dan definisi.

Dua faktor teknik lain yang juga harus diperhatikan adalah:

1. Tersebar radiasi.

Ketika seberkas sinar-X atau sinar gamma menyerang objek apapun, beberapa radiasi yang diserap, beberapa tersebar, dan beberapa melewati langsung. Kecuali langkah yang tepat diambil untuk mengurangi dampaknya, pencar akan mengurangi kontras gambar.

2. Kontras radiografi

Kontras radiografi adalah perbedaan dalam gelap radiografi terkait dengan perbedaan dalam kepadatan materi antara dua bidang radiografi. Hal ini tergantung pada kedua kontras subjek (rasio X-ray atau sinar gamma intensitas ditransmisikan ke film dari dua bagian yang dipilih dari spesimen) dan kontras Film (kemiringan kurva gelap

karakteristik film). Definisi mengacu pada ketajaman garis dalam gambar. Hal ini tergantung pada jenis layar dan film yang digunakan, energi radiasi (panjang gelombang, dll), dan geometri setup radiografi (Trimm, 2010).

2.3 Citra

Citra (*image*) atau gambar adalah salah satu komponen multimedia yang 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*. Citra semacam ini menjadi lebih sulit untuk diinterpretasikan karena informasi yang disampaikan oleh citra tersebut menjadi berkurang (Sony, 2006).

2.3.1 Perbaikan Kualitas Citra

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:

$$g(x,y) = T[f(x,y)] \quad (2.26)$$

dengan:

$f(x,y)$: fungsi citra masukan

$g(x,y)$: citra hasil atau keluaran

T : operator atas f

Contoh dari metode ini adalah operasi *filtering* citra yaitu penghalusan citra dengan cara menghilangkan *noise* pada citra (Sony, 2006).

Inversi citra adalah proses negatif pada citra, misalkan pada foto, dimana setiap nilai citra dibalik dengan acuan threshold yang diberikan. Proses ini banyak digunakan pada citra-citra medis seperti USG dan X-Ray. Untuk citra dengan derajat keabuan 256, proses inversi citra didefinisikan:

$$x_n = 255 - x \quad (2.27)$$

dengan:

x_n : Citra hasil inversi

255 : derajat keabuan maximum

x : matriks citra asli (grayscale)

Deteksi tepi (*Edge Detection*) pada suatu citra adalah suatu proses yang menghasilkan tepi-tepi dari obyek-obyek citra, tujuannya adalah:

1. Untuk menandai bagian yang menjadi detail citra
2. Untuk memperbaiki detail dari citra yang kabur, yang terjadi karena error atau adanya efek dari proses akuisisi citra

Suatu titik (x,y) dikatakan sebagai tepi (*edge*) dari suatu citra bila titik tersebut mempunyai perbedaan yang tinggi dengan tetangganya.

a. Operator Gradien

Pada citra digital $f(x,y)$, turunan berarah sepanjang tepian objek akan bernilai maksimum pada arah normal dari kontur tepian yang bersesuaian. Sifat ini dipergunakan sebagai dasar pemanfaatan operator gradien sebagai *edge detector*.

Operator gradien citra konvensional melakukan diferensiasi intensitas piksel pada arah baris dan kolom, mengikuti persamaan *local intensity variation* berikut :

$$\nabla f(x, y) = f_x + f_y = \frac{\partial}{\partial x} f(x, y) + \frac{\partial}{\partial y} f(x, y) \quad (2.28)$$

Nilai magnitudo gradien $|\nabla(x,y)|$ dari persamaan di atas dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$|\nabla(x, y)| = \sqrt{(f_x)^2 + (f_y)^2} \quad (2.29)$$

Operator gradien dapat direpresentasikan oleh dua buah kernel konvolusi G_x dan G_y , yang masing-masing mendefinisikan operasi penghitungan gradien dalam arah sumbu x dan sumbu y yang saling tegak lurus.

Dalam kasus penghitungan gradien dengan persamaan *local intensity variation*, maka kernel G_x dan G_y dapat dirumuskan seperti berikut:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Dari operator gradien konvensional di atas, dapat diturunkan berbagai operator gradien berikut:

1. Metode Roberts

Metode Robert adalah nama lain dari teknik differensial yang dikembangkan di atas, yaitu differensial pada arah horisontal dan differensial pada arah vertikal, dengan ditambahkan proses konversi biner setelah dilakukan differensial. Teknik konversi biner yang disarankan adalah konversi biner dengan meratakan distribusi warna hitam dan putih, Metode Robert ini juga disamakan dengan teknik *DPCM (Differential Pulse Code Modulation)*.

Operator Roberts memiliki ukuran kernel sebesar 2×2 , yang direpresentasikan sebagai:

$$R_x = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \quad R_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

2. Metode Sobel

Metode Sobel merupakan pengembangan metode robert dengan menggunakan filter HPF yang diberi satu angka nol penyangga. Metode ini mengambil prinsip dari fungsi laplacian dan gaussian yang dikenal sebagai fungsi untuk membangkitkan HPF. Kelebihan dari metode sobel ini adalah kemampuan untuk mengurangi noise sebelum melakukan perhitungan deteksi tepi.

Sobel merupakan algoritma deteksi tepi yang menggunakan Sobel Operator, yaitu sepasang *kernel* berupa matriks berukuran 3×3 untuk mendeteksi tepi vertikal dan horizontal (Gambar 2.11).

+1	+2	+1	-1	0	+1
0	0	0	-2	0	+2
-1	-2	-1	-1	0	+1
G_x			G_y		

Gambar 2.11 Operator Sobel

Kombinasi kedua kernel tersebut digunakan untuk menghitung jarak absolute sebuah gradient namun bisa juga diaplikasikan secara terpisah untuk menghitung masing-masing proses vertikal dan horizontal. Untuk menghitung jarak gradient, digunakan persamaan :

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2.30)$$

dengan:

$|G|$: Jarak gradient

G_x : Operator sobel sumbu x

G_y : Operator sobel sumbu y

Kemudian untuk menghitung arah dari garis tepi yang dihasilkan, digunakan persamaan:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{G_x}{G_y}\right) \quad (2.31)$$

dengan:

θ : Arah garis tepi

3. Metode Prewitt

Metode Prewitt merupakan pengembangan metode robert dengan menggunakan filter HPF yang diberi satu angka nol penyangga. Metode ini mengambil prinsip dari fungsi laplacian yang dikenal sebagai fungsi untuk membangkitkan HPF.

Prewitt merupakan algoritma deteksi tepi yang hampir serupa dengan sobel, tetapi algoritma ini menggunakan Prewitt operator yang nilainya agak berbeda dengan Sobel operator (Gambar 2.12).

+1	+1	+1
0	0	0
-1	-1	-1

Gx

-1	0	+1
-1	0	+1
-1	0	+1

Gy

Gambar 2.12 Operator Prewitt

b. Operator Laplace

Dalam kondisi transisi tepian yang lebih tidak ekstrem, penggunaan operator turunan kedua lebih dianjurkan.

$$\nabla^2 f(x, y) = f_{xx} + f_{yy} = \frac{\partial}{\partial x} f_x(x, y) + \frac{\partial}{\partial y} f_y(x, y) \quad (2.32)$$

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} f(x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} f(x, y) \quad (2.32)$$

Representasi turunan kedua dalam bentuk kernel operator Laplacian adalah sebagai berikut:

$$L = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Dengan berbagai macam pembobotan, kernel Laplacian tersebut dapat dimodifikasi menjadi beberapa kernel konvolusi berikut :

$$L_1 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad L_2 = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$

1. Metode *Laplacian of Gaussian* (LoG)

Metode ini akan mendeteksi zero crossing, untuk menentukan garis batas antara hitam dan putih, yang terdapat pada turunan kedua dari citra yang bersangkutan. Kekurangann dari penerapan perator laplacian adalah sangat sensitif terhadap noise, namun demikian edge detection dengan operator ini dapat di tingkatkan hasilnya dengan menerapkan thresholding.

Turunan kedua memiliki sifat lebih sensitif terhadap *noise*, selain itu juga menghasilkan *double edge*. Oleh karena itu, operator Laplacian dalam deteksi tepi pada umumnya tidak dipergunakan secara langsung, namun dikombinasikan dengan suatu kernel Gaussian menjadi sebuah operator *Laplacian of Gaussian*.

$$G(x, y) = -\frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \quad (2.33)$$

$$\nabla^2(G(x, y)) = \frac{1}{\pi\sigma^4} \left[1 - \frac{x^2+y^2}{2\sigma^2} \right] e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \quad (2.34)$$

2. Metode *canny*

Operator Canny merupakan deteksi tepi yang optimal. Operator Canny menggunakan Gaussian Derivative Kernel untuk menyaring kegaduhan dari citra awal untuk mendapatkan hasil deteksi tepi yang halus.

2.3.2 Pengukuran Kualitas Citra

Merupakan metode untuk mengetahui besaran kualitas citra sehingga didapatkan citra yang terbaik. Dalam pengukuran kualitas citra digunakan 2 metode yaitu :

1. MSE (*Mean Square Error*)

MSE adalah rata-rata kuadrat nilai kesalahan antara citra asli dengan citra hasil pengolahan yang secara matematis dapat dirumuskan:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \left| (f(x,y) - g(x,y))^2 \right| \quad (2.35)$$

dengan:

MSE : *mean square error*

M : panjang sumbu x

N : panjang sumbu y

$f(x,y)$: matrik citra hasil olahan

$g(x,y)$: matrik citra asli

2. 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:

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{y}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (2.36)$$

dengan:

$PSNR$: *peak signal to noise ratio*

MSE : *Mean Square Error*

y : skala maksimal citra (255 dianggap 1 dalam bilangan *binary*)

2.4 Keramik

Keramik dibentuk dari kata Latin *keramikos* yang berarti tembikar atau peralatan yang terbuat dari lempung dan mengalami pembakaran dengan suhu tinggi. Kamus dan

ensiklopedia tahun 1950-an mendefinisikan keramik sebagai suatu hasil seni dan teknologi untuk menghasilkan barang dari tanah liat yang dibakar, seperti gerabah, genteng, porselin dan sebagainya. Penggunaan keramik berkembang dari bahan pecah belah, perabot rumah tangga hingga produk industri (Alvitasari, 2013).

Istilah keramik, sesuai konteks modern, mencakup material anorganik yang sangat luas, keramik mengandung elemen non metalik dan metalik yang dibuat berbagai teknik manufaktur. Secara tradisional, keramik dibuat dari mineral Silikat, seperti lempung, yang dikeringkan dan dibakar pada temperature 1200° - 1800°C pada tungku. Keramik modern dibuat dengan proses pembakaran tanpa tungku (misalnya penekanan panas, reaksi sintering, dan gelas detrifikasi) (Smallman dan Bishop, 1999). Keramik memiliki karakter nonmetalik yang sederhana untuk membedakannya dari logam (Made, 2009).

Perkembangan keramik mengalami kemajuan yang pesat sejalan dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat, baik untuk alat rumah tangga, ubin keramik, genteng keramik, hiasan/barang seni (Subari dan Hidayati, 2010). Kekuatan dan ikatan keramik menyebabkan tingginya titik lebur, kerapuhan, daya tahan terhadap korosi, rendahnya konduktivitas thermal dan tingginya kekuatan kompresif dari material.

Keramik merupakan bahan yang mempunyai karakteristik senyawa logam dan bukan logam, senyawa tersebut memiliki ikatan ionik dan ikatan kovalen (Van Vlack, 1991). Keramik merupakan bahan komposit yang memiliki tahanan suhu tinggi, keausan dan korosi yang lebih baik daripada super alloy namun memiliki sifat getas (Subiyanto & Subowo, 2003). Akan tetapi ada beberapa kelemahan pada kebanyakan

jenis keramik yaitu sifatnya rapuh (*brittle*), getas dan mudah patah seperti halnya pada jenis keramik konvensional yaitu porselen, gerabah, gelas, dan sebagainya.

Pada prinsipnya keramik terbagi dalam 2 kategori:

1. Keramik tradisional

Keramik tradisional yaitu keramik yang dibuat dengan menggunakan bahan alam. Keramik tradisional tersusun atas 3 komponen dasar, yaitu lempung (tanah liat), feldspar, silika. Keramik ini menggunakan bahan-bahan amorf. Yang termasuk keramik tradisional adalah barang pecah belah (*dinnerware*), keperluan rumah tangga dan untuk industri.

2. Keramik teknologi

Keramik teknologi adalah keramik yang dibuat dengan menggunakan oksida logam atau logam, seperti Al_2O_3 , ZrO_2 , MgO . Penggunaannya sebagai elemen panas, semi konduktor, komponen turbin dan pada bidang medis.

Sifat umum keramik yang mudah dilihat adalah rapuh, contohnya pada keramik yang terbuat dari lempung, sifat lainnya adalah tahan suhu tinggi sebagai contoh keramik tradisional yang terdiri dari pasir, feldspar dan lempung tahan sampai pada suhu $1200^{\circ}C$, sedangkan pada keramik teknik seperti keramik oksida mampu tahan sampai suhu $2000^{\circ}C$ (Umah, 2010). Kekuatan keramik dipengaruhi oleh bahan campuran sehingga keramik bergantung dari bahan baku dan bahan paduannya.

2.4.1 Bahan Pembuat Keramik

2.4.1.1 Lempung

Lempung adalah material yang memiliki ukuran diameter partikel lebih kecil dari 2 μm dan dapat ditemukan dekat permukaan bumi. Karakteristik umum dari lempung mencakup komposisi kimia, dan struktur lapisan kristal (Qodari, 2010).

Semua mineral lempung memiliki sifat plastis dan mudah dicetak untuk butir yang serta pada waktu basah, sifat plastisitas dan kemampuan kerja dari lempung kebanyakan dipengaruhi oleh kondisi fisik, kaku setelah dikeringkan, *vitreous* (bersifat kaca) setelah dipanaskan pada temperatur yang sesuai (Isman, dkk, 2000).

Pada umumnya ada 2 jenis lempung, yaitu:

1. *Ball clay*

Ball clay digunakan pada keramik putih karena memiliki plastisitas tinggi dengan tegangan patah tinggi serta tidak pernah digunakan sendiri. Tanah jenis ini disebut tanah liat sedimen, memiliki butir halus dan berwarna abu-abu.

2. *Fire clay*

Jenis tanah ini biasanya berwarna terang ke abu-abu gelap menuju hitam. *Fire clay* diperoleh di alam dalam bentuk bongkahan yang menggumpal dan padat. Tanah jenis ini tahan dibakar pada suhu tinggi tanpa mengubah bentuknya. Ada 3 jenis *fire clay*, yaitu *flint fire clay* yang memiliki struktur kuat, *plastic fire clay* yang memiliki kemampuan kerja yang baik, serta *high alumina clay* yang sering digunakan sebagai refraktori dan bahan tahan api.

2.4.1.2 Pasir Kuarsa

Pasir kuarsa adalah bahan galian yang terdiri atas kristal-kristal silika (SiO_2) dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan. Pasir kuarsa mempunyai komposisi gabungan SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO dan K_2O berwarna putih bening atau warna lain bergantung pada senyawa pengotornya (Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, 2012).

Kuarsa (SiO_2) banyak dipakai sebagai bahan industri seperti keramik dan sebagai bahan anorganik yang bukan logam (Asmuni, 2008). Pada umumnya di alam, pasir kuarsa ditemukan dengan ukuran butir bervariasi dalam distribusi yang melebar, mulai dari fraksi halus (0,06 mm) sampai dengan ukuran kasar (2 mm). Beberapa sifat fisik pasir kuarsa meliputi warna, kekerasan, berat jenis dan lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Sifat fisik pasir kuarsa Indonesia (Prayogo & Budiman, 2009)

Sifat Fisik	Deskripsi
Warna	Putih bening atau lain bergantung pada senyawa pengotornya, misal kuning mengandung Fe oksida, merah mengandung Cu-oksida.
Kekerasan	7 (skala mohs)
Berat jenis	2,65
Titik lebur	$\pm 1715^\circ\text{C}$
Bentuk Kristal	Heksagonal
Panas spesifik	0,185
Konduktivitas panas	$12^\circ\text{-}100^\circ\text{C}$

2.4.2 Keramik Klampok-Banjarnegara

Desa Klampok, Kecamatan Purworejo-Klampok, Kabupaten Banjarnegara sangat terkenal dengan kerajinan keramiknya. Desa ini berjarak 19 km dari kota Banjarnegara atau 170 km dari Semarang. Sentra kerajinan ini mempunyai 30 unit usaha yang tersebar di seluruh desa. Industri keramik di Desa Klampok mulai dirintis tahun 1947 oleh seorang pengrajin dengan nama usaha Mandallai Keramik, kemudian baru mulai 1970 berdiri usaha-usaha sejenis lainnya seperti Usaha Karya (1970), Mustika (1975), dan Kiat (1978).

Produk yang dihasilkan sentra ini bermacam-macam, seperti patung, piring, vas dan asbak. Produk keramik ini tersedia dalam berbagai ukuran, mulai dari yang kecil sampai dengan yang besar, berdesain antik maupun modern. Keramik Klampok dikenal sebagai keramik berkualitas prima sehingga sudah mampu dipasarkan dalam negeri dan luar negeri (Perancis, dan Saingapura) (Sumiarso B, 2010).

Importir dari negara tersebut kebanyakan memanfaatkan keramik sebagai *gift* atau cinderamata (Barthelot, 2009). Kendala yang dihadapi pada proses pembuatan keramik, salah satunya adalah lamanya proses pembuatan keramik. Hal ini disebabkan proses pembuatan keramik di Desa Klampok masih menggunakan teknologi tradisional.

BAB V

PENUTUP

5.1. Simpulan

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

Metode *Radiography Non-destructive Testing* dapat digunakan untuk mendeteksi keretakan pada keramik. Keretakan terdeteksi pada sampel 1, sedangkan pada sampel lain tidak terdapat keretakan.

Pada ketebalan 2 mm, tegangan yang paling baik adalah 70 kV. Pada ketebalan 1 mm, tegangan yang paling baik adalah 65 kV. Pada ketebalan 0,5 mm, tegangan paling baik adalah 60 kV. Jadi semakin tebal objek, semakin besar nilai potensial tegangan yang digunakan. Faktor eksposi jarak paling optimum untuk mendapatkan kualitas gambar paling baik adalah 65 cm.

Metode pengolahan citra yang terbaik adalah metode filter deteksi tepi Canny dan filter deteksi tepi LoG dengan nilai PSNR yang paling optimum dibandingkan filter deteksi tepi lain.

Kualitas keramik sampel 1 kurang baik sedangkan kualitas keramik lain baik.

5.2. Saran

Saran yang dapat disampaikan penulis dalam penelitian ini adalah mengecek kestabilan tegangan agar saat dilakukan ekspos, tegangan tidak naik turun dan memberikan hasil yang kurang memuaskan. Selain itu juga menggunakan metode deteksi tepi lain seperti deteksi tepi *Gabor wavelet* dan deteksi tepi *Simplified Gabor Waveled*.

DAFTAR PUSTAKA

- A.K.Jain, 2011, *Digital Image Processing Fundamentals of Digital Image Processing*: Sharif University of Technology.
- Alvitasari, D. 2013. *Analisis Sifat Mekanik dan Foto Mikroskopis Keramik Berbahan Dasar Lempung Bersisik (Scaly Clay) Formasi Karangsambung Kebumen*. Skripsi. Jurusan Fisika, Universitas Negeri Semarang: Semarang.
- Asmuni. 2008. *Karakterisasi Pasir Kuarsa (SiO_2) dengan Metode XRD*. FMIPA Universitas Sumatera Utara.
- Beiser. A., 1999. *Konsep Fisika Modern Edisi Keempat*. Jakarta : Erlangga.
- Berthelot J.M.. 2009. *Composite Material : Mechanical Behavior and Structural Analysis*. McGraw-Hill Inc: New York.
- Bushong, Sc.D. 2001. *Radiologic Science for Technologist Physics, Biology dan Protection* 4th edition With 712 Illustration.
- Carado, A. 2011. *Residual Stress Distribution in Ceramic/metal Systems by Nondestructive Techniques*. Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg: France.
- Carrol, B. Q. 1985. *Radiographic Exposure, Processing and Quality Control*. USA: Charles C. Thomas
- Chesney, D.N. 1989, Chesney, O. Murriel, 1981. *Radiographic Imaging*, 4th Edition, Blackwell Scientific Poublication, London.
- Cho, H. M, dkk. 2015. *Experimental study on the application of a compressed-sensing (CS)-based deblurring method in x-ray nondestructive testing and its image performance*. Department of Radiation Convergence Engineering, iTOMO Research Group, Yonsei University: Korea.

- Curry III, T.S. Dewedy, J.E. and Murry, J.R. 1990. *Christensen's Physics of Diagnostic Radiology*, 4th edition, Philadelphia : Lea and Febiger.
- Fathoni, M. H., dkk, (2013). *Perancangan, Pembuatan, dan Karakterisasi Transduser Ultrasonik 3,5 MHz untuk Pengujian Bahan Padat, 2(1)*. Politeknik Negeri Semarang
- Hoxter. 1982 .*Practical Radiography 11th edition*. Siemens Aktiengesellschaft Heyden and Sun Ltd.
- https://en.wikipedia.org/wiki/Radiographic_testing
- Isman, MT., D. I. Sardjono, Sukosrono, & Kimolo, E. 2000. *Penentuan Komposisi Bahan Mineral Penyusun Keramik Untuk Immobilisasi Limbah Radioaktif*. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir. P3TM BATAN. Yogyakarta.
- IAEA. 2008. *Application of Reliability Centered Maintenance to Optimize Operation and Maintenance in Nuclear Power Plants*.
- Krane K. 1992. *Fisika Modern*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Made, G. 2009. *Klasifikasi dan Karakteristik Material Keramik*. FKIP UMN: Medan.
- Marshal, G. C. 1944. *Military Roentgenology*. Washington D. C. War Department of USA.
- Meredith, Geoffrey G. et.al. (1996). *Kewirausahaan Teori dan Praktek*. Terjemahan Anre Asparsyogi. Jakarta: PT. Pustaka Binaman Presindo.
- Naryono, dan Suharyadi I. *Analisa Pengelasan Dingin dengan Menggunakan Metode High Frequency Electrical Resistance Welding pada Proses Pembuatan Pipa Baja SKTM 13B*. Universitas Muhammadiyah Jakarta
- Nirmalasari, D. 2012. *Pergeseran luas lapangan penyinaran (light field alignment) dari alat radiografi di RSUD dr. Soetomo Surabaya(Skripsi)*. Surabaya : Universitas Airlangga Surabaya.

- Panigrahi, M, dkk. 2014. *Comparative Analysis of Different Edge Detection Techniques for Biomedical Image Using Matlab*. India : Engineering and Scientific International Journal.
- Poobathy, D., Chezian, Manicha. 2014. *Edge Detection Operators: Peak Signal to Noise Ratio Based Comparison*. India: Interbational Journal Image, Graphic and Signal Processing.
- Prayogo, T. & Budiman, B. 2009. *Survey Potensi Pasir Kuarsa Di Daerah Ketapang Propinsi Kalimantan Barat*. Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia Vol.11 No.2 Agustus 2009 Hlm. 126-132.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (2012) : *Data Pertambangan Mineral dan Batubara "Pasir Kuarsa"*.
<http://www.tekmira.esdm.go.id/data/PasirKwarsa/Ulasan.asp?xdir=PasirKwarsa&commId=25&comm=Pasir%20Kwarsa> [diakses 20/12/2012].
- Putra, W. H. A., dan Ferdi R. 2006. *Analisa Pengaruh Nonconductive Coating Terhadap Panjang Pendeteksian Cacat Permukaan dengan Menggunakan Metode Pemeriksaan Magnetik Partikel (MPI) pada Sambungan Las Crane di Kapal*. Institut Negeri Sepuluh November Surabaya
- Qodari, M. T. 2010. *Karakterisasi Lempung dari Daerah Pagedangan Kecamatan Turen Kabupaten Malang dan Daerah Getaan Kecamatan Pagelaran Kabupaten Malang*. Skripsi. Jurusan Kimia. UIN Malang.
- Smallman, R.E, Bishop, R.J. 1999. *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering*. London : Butterworth-Heinemann
- Sony, 2006, *Analisis Filtering Citra Dengan Metode Mean filter dan Median Median Filter*, Bandung, Unikom journal
- Sprawls, 1987, *Physical Principles of Medical Imaging*, Aspen Publisher, Inc, Atlanta, USA

- Subianto, MS. 1987. *Fisika Modern*. Bandung: Konika XII.
- Subiyanto, H. & Subowo. 2003. *Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Sifat Mekanik Keramik Insulator Listrik*. Jurnal Teknik Mesin, Volume 3, Nomor 1, Januari 2003. ITS. Surabaya.
- Subari & Hidayati. 2010. *Pemanfaatan Limbah Porong sebagai Bahan Aditif pada Pembuatan Glasir*. Jurnal Informasi Teknologi Keramik dan Gelas 31 (1): 9 – 24.
- Sumiarso, B. 2010. *Pengembangan Teknologi Pembuatan Keramik Tradisional Memanfaatkan Energi listrik Rumah Tangga di Desa Klampok*. Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang: Semarang.
- Susilo, Sunarno, Azam, M., Anam C., 2010. *Rancang bangun sistem pencitraan radiografi digital untuk pengembangan layanan rumah sakit daerah dalam pelaksanaan otonomi daerah dan desentralisasi (Laporan Penelitian Unggulan Strategis Nasional)*. Jakarta: Dikti.
- Suyatno, F. 2008. *Aplikasi Radiasi Sinar-X di Bidang Kedokteran Untuk Menunjang Kesehatan Masyarakat*. Tangerang: Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir-BATAN.
- Trimm, Marvin. 2010. *NDE and Materials Reliability*. Savannah River Technology Center: Westinghouse Savannah River Company, Aiken, SC 29808.
- Umah, S. 2010. *Kajian Penambahan Abu Sekam Padi dari Berbagai Suhu Pengabuan terhadap Plastisitas Kaolin*. Skripsi. Jurusan Kimia. UIN Malang.
- Van der Plaats, 1972. *Medical X-Ray Technique*. Third Edition, Philips Technical Library, Eindhoven
- Van Vlack, L.H., (1991), *Ilmu dan Teknologi Bahan*, terjemahan : Dr.Ir.Sriati Djaprie, Edisi Kelima, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Yudo, H. dan Jokosisworo, S., 2006. Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. *Kapal*, 3(3), pp. 70-72. Available From : <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/kapal/article/view/2639>

