UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Identifikasi Cacat Pengelasan pada Citra Digital Film Radiografi Industri
MUHTADAN, Dr. Ir. Risanuri Hidayat, M.Sc.; Widyawan, S.T., M.T., Ph.D.; Prof. Dr-Ing. Fahmi Amhar
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN III

PERNYATAAN IV

PRAKATA V

DAFTAR ISI VI

DAFTAR GAMBAR IX

DAFTAR TABEL XII

INTISARI XIV

ABSTRACT XV

BAB 1 PENDAHULUAN 1

1.1. Latar Belakang Masalah 1

1.2. Rumusan Masalah 7

1.3. Batasan Masalah 8

1.4. Keaslian Penelitian 8

1.4.1. Pengolahan awal citra digital film radiografi 8

1.4.2. Segmentasi cacat pengelasan 9

1.4.3. Ekstraksi ciri citra cacat pengelasan 12

1.4.4. Klasifikasi jenis cacat pengelasan 12

1.4.5. Aspek keaslian penelitian 15

1.5. Tujuan Penelitian 19

1.6. Manfaat Penelitian 19

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 20

2.1. Tinjauan Pustaka 20

2.2. Landasan Teori 30

2.2.1. Radiografi industri 30

2.2.2. Film radiografi 32

2.2.3. Diskontinuitas dan cacat 34

2.2.4. Visi komputer 36

2.2.5. Perbaikan citra digital 37

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Identifikasi Cacat Pengelasan pada Citra Digital Film Radiografi Industri
MUHTADAN, Dr. Ir. Risanuri Hidayat, M.Sc.; Widyawan, S.T., M.T., Ph.D.; Prof. Dr-Ing. Fahmi Amhar
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.2.6. Segmentasi citra *41*
2.2.7. Evaluasi segmentasi *42*
2.2.8. Pencocokan Kurva *43*
2.2.9. Fuzzy C Means *44*
2.2.10. Alihragam gelombang singkat (GS) *47*
2.2.11. Ekstraksi ciri *54*
2.2.12. Tekstur Statistik berbasis Histogram *55*
2.2.13. Matriks kookurensi skala keabuan *56*
2.2.14. Geometric Invariant Moment (GIM) *58*
2.2.15. Rasio diskriminasi Fisher (FDR) *59*
2.2.16. Klasifikasi *60*
2.2.17. Pengklasifikasi Bayes *61*
2.2.18. Jaringan Syaraf Tiruan Multilayer *62*
2.2.19. Support Vector Machine (SVM) *66*
2.2.20. K-Nearest Neighbor (KNN) *68*
2.2.21. Fuzzy –KNN *69*
2.3. Pertanyaan Penelitian 70

BAB 3 METODE PENELITIAN 71

3.1. Materi Penelitian 71
3.2. Peralatan Penelitian 72
3.3. Jalan Penelitian 72
3.3.1. Persiapan data *73*
3.3.2. Pengembangan algoritma estimasi area las *77*
3.3.3. Perbaikan kualitas citra digital *83*
3.3.4. Pengembangan algoritma segmentasi obyek cacat pengelasan *85*
3.3.5. Ekstraksi ciri tekstur statistik *91*
3.3.6. Seleksi ciri *91*
3.3.7. Klasifikasi dan identifikasi jenis cacat pengelasan *92*
3.3.8. Klasifikasi dengan Bayes *94*
3.3.9. Klasifikasi dengan JST Multi Layer Perceptron (MLP) *94*
3.3.10. Klasifikasi dengan SVM *96*
3.3.11. Klasifikasi dengan KNN *96*
3.3.12. Klasifikasi dengan fuzzy-KNN *96*
3.3.13. Pengujian dan Evaluasi *97*

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 102

4.1. Data Penelitian dan Penentuan *Groundtruth* 102
4.2. Hasil Pengujian dan Pembahasan 104

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Identifikasi Cacat Pengelasan pada Citra Digital Film Radiografi Industri
MUHTADAN, Dr. Ir. Risanuri Hidayat, M.Sc.; Widyawan, S.T., M.T., Ph.D.; Prof. Dr-Ing. Fahmi Amhar
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.2.1. Estimasi area pengelasan 104
4.2.2. Hasil perbaikan citra 106
4.2.3. Hasil segmentasi obyek cacat 107
4.2.4. Evaluasi segmentasi 110
4.2.5. Hasil Ekstraksi Ciri 112
4.2.6. Hasil seleksi ciri berbasis nilai FDR 120
4.2.7. Hasil klasifikasi 121
4.2.8. Sensitifitas dan spesifisitas pengklasifikasi Bayes 121
4.2.9. Sensitifitas dan spesifisitas pengklasifikasi MLP 124
4.2.10. Sensitifitas dan spesifisitas pengklasifikasi fuzzy-KNN 126
4.2.11. Sensitifitas dan spesifisitas pengklasifikasi SVM kelas jamak 127
4.2.12. Akurasi pengklasifikasi Bayes 128
4.2.13. Akurasi pengklasifikasi MLP 129
4.2.14. Akurasi pengklasifikasi KNN 130
4.2.15. Akurasi pengklasifikasi fuzzy-KNN 131
4.2.16. Akurasi pengklasifikasi SVM kelas jamak 132
4.2.17. Hasil uji komparasi dengan berbagai metode klasifikasi 133

BAB 5 KESIMPULAN 136

DAFTAR PUSTAKA 138

LAMPIRAN 143

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Identifikasi Cacat Pengelasan pada Citra Digital Film Radiografi Industri
MUHTADAN, Dr. Ir. Risanuri Hidayat, M.Sc.; Widyawan, S.T., M.T., Ph.D.; Prof. Dr-Ing. Fahmi Amhar
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Berbagai citra asli film radiografi yang digunakan dalam berbagai penelitian untuk segmentasi cacat pengelasan. 10
Gambar 1.2. Citra film radiografi yang utuh dari hasil inspeksi pengelasan pipa di industri..... 11
Gambar 1.3. Ilustrasi kontribusi penelitian dalam hal segmentasi pada cacat las17
Gambar 1.4. Ilustrasi kontribusi penelitian pada tahap pengenalan pola 18
Gambar 2.1. Prinsip dasar Radiografi 31
Gambar 2.2. Radiograf dengan perbedaan kontras 33
Gambar 2.3. Radiograf dengan perbedaan definisi 34
Gambar 2.4. Bentuk porosity didalam lasan dan radiograf 35
Gambar 2.5. Bentuk cluster porosity dialam radiograf 35
Gambar 2.6. Bentuk jenis cacat crack didalam radiograf..... 35
Gambar 2.7. Bentuk jenis cacat burn through dan bayangannya pada radiograf. 36
Gambar 2.8. Fungsi transformasi untuk peregangan kontras [62]..... 39
Gambar 2.9. Ilustrasi definisi hubungan antara ground-truth dengan segmentasi pada pendekatan mutual overlap [63] 43
Gambar 2.10. Analisis dan sintesis AGSD 52
Gambar 2.11. Bank penapis analisis atau dekomposisi fungsi dua dimensi [62] 54
Gambar 2.12. Bank penapis sintesis atau rekonstruksi fungsi dua dimensi [62]. 54
Gambar 2.13. Arsitektur JST dua lapisan [70] 63
Gambar 2.14. Arsitektur JST dua lapisan, dengan penotasian singkat [70]..... 64
Gambar 2.15. (a) fungsi transfer hard limit, (b) fungsi transfer linier [70]..... 65
Gambar 2.16. Fungsi transfer sigmoid [70]..... 65
Gambar 2.17. Fungsi transfer hiperbolic tangent sigmoid [70]..... 66
Gambar 2.18. Fungsi pemisah g(x), fungsi linier H_1 dan H_2, serta support vector [71]..... 67
Gambar 2.19. Contoh klasifikasi KNN dengan nilai K=1 dan K=5 69
Gambar 3.1. Diagram alir garis besar langkah penelitian 72

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Identifikasi Cacat Pengelasan pada Citra Digital Film Radiografi Industri
MUHTADAN, Dr. Ir. Risanuri Hidayat, M.Sc.; Widyawan, S.T., M.T., Ph.D.; Prof. Dr-Ing. Fahmi Amhar
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 3.2. Data citra digital kelompok pertama untuk percobaan segmentasi dengan berbagai jenis cacat pengelasan; (a) burn trough, (b) clustered porosity, (c) distributed porosity, (d) incomplete penetration, (e) slag inclusion, (f) crack, (g) wormhole 73
Gambar 3.3. Ilustrasi pembuatan citra data set 74
Gambar 3.4. Contoh dataset untuk percobaan ekstraksi ciri dan klasifikasi; (a), (c), dan (e) merupakan contoh data citra asli; (b), (d), dan (f) merupakan citra dataset dari citra asli. 75
Gambar 3.5. Diagram alir langkah penentuan citra groundtruth area pengelasan dan contoh hasilnya 76
Gambar 3.6. Diagram alir langkah penentuan citra groundtruth obyek cacat pengelasan dan contoh hasilnya. 77
Gambar 3.7. Skema pembagian area pada suatu sampel film radiografi, keterangan berada pada Tabel 3.1 78
Gambar 3.8. Ilustrasi irisan penampang las sambungan material (sumber: www.nde-ed.org) 79
Gambar 3.9. Ilustrasi jumlah radiasi yang menembus material las 80
Gambar 3.10. Diagram alir tahap estimasi area pengelasan 81
Gambar 3.11. Ilustrasi tahapan estimasi area las 82
Gambar 3.12. Fungsi peregangan kontras [62] 85
Gambar 3.13. Diagram alir langkah-langkah segmentasi cacat pengelasan 86
Gambar 3.14. Diagram alir operasi penajaman citra 88
Gambar 3.15. Diagram alir kerangka kerja klasifikasi jenis cacat pengelasan 93
Gambar 3.16. Contoh pelatihan MLP 95
Gambar 3.17. Visualisasi validasi segmentasi dengan pendekatan mutual overlap 98
Gambar 3.18. Tahapan evaluasi segmentasi dengan pendekatan mutual overlap 98
Gambar 3.19. Validasi silang k-fold dengan nilai k=4 100
Gambar 4.1. Citra groundtruth area pengelasan (a – g) dan obyek cacat pengelasan (h – n) yang diperoleh dari citra asal pada data kelompok pertama yang ditunjukkan dalam Gambar 3.2 103

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Identifikasi Cacat Pengelasan pada Citra Digital Film Radiografi Industri
MUHTADAN, Dr. Ir. Risanuri Hidayat, M.Sc.; Widyawan, S.T., M.T., Ph.D.; Prof. Dr-Ing. Fahmi Amhar
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 4.2. Hasil-hasil tahapan estimasi area las. (a) citra asli dengan tanda blok yang digunakan; (b) dan (c) profil intensitas blok; (d) dan (e) profil intensitas hasil pencocokan kurva Gaussian ; (f) citra rekonstruksi menggunakan profil intensitas Gaussian; (g) citra pengambangan dari (f); dan (h) citra area las 105

Gambar 4.3. Hasil penerapan filter median, (a) dengan kernel 2×2, (b) dengan kernel 3×3, (c) dengan kernel 5×5, (d) dengan kernel 9×9..... 106

Gambar 4.4. Perbandingan citra hasil peredaman derau (a) dengan hasil peregangan kontras dan penajaman citra (b) untuk beberapa contoh citra film radiografi. 107

Gambar 4.5. Penapis Laplacian yang digunakan. 108

Gambar 4.6. Hasil tahapan segmentasi pada citra jenis cacat crack. (a) citra asli hasil estimasi area las, (b) citra subtraksi latar belakang, (c) citra hasil penajaman Laplacian, (d) citra dekomposisi-rekonstruksi GS, dan (e) citra hasil segmentasi FCM. 108

Gambar 4.7. Perbandingan hasil segmentasi, (a) hasil segmentasi FCM standar tanpa proses peningkatan, dan (b) hasil segmentasi FCM dengan proses peningkatan..... 109

Gambar 4.8. Distribusi elemen ciri HST 114

Gambar 4.9. Distribusi nilai setiap elemen ciri GLCM, (a) pada sudut 0^o dan (b) pada sudut 45^o..... 117

Gambar 4.10. Distribusi nilai setiap elemen ciri GLCM, (a) pada sudut 90^o dan (b) pada sudut 135^o 118

Gambar 4.11. Distribusi nilai setiap elemen ciri GIM 119

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Identifikasi Cacat Pengelasan pada Citra Digital Film Radiografi Industri
MUHTADAN, Dr. Ir. Risanuri Hidayat, M.Sc.; Widyawan, S.T., M.T., Ph.D.; Prof. Dr-Ing. Fahmi Amhar
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Aspek keaslian dan kontribusi penelitian..... 15
Tabel 3.1. Tabel deskripsi area pada film radiografi berdasarkan Gambar 3.7.... 78
Tabel 3.2. Variasi metode ekstraksi ciri yang digunakan..... 99
Tabel 3.3. Tabel atau matriks kesalahan untuk dua kelas 101
Tabel 4.1. Perbandingan nilai M_{MO} segmentasi penelitian dengan segmentasi pengambangan Otsu dari data sampel film radiografi 111
Tabel 4.2. Hasil perbandingan nilai M_{MO} segmentasi FCM standar dengan FCM pada penelitian ini 112
Tabel 4.3. Contoh hasil ekstraksi ciri metode HST 113
Tabel 4.4. Tingkat keterpisahan antar jenis cacat ciri HST berdasarkan jarak euclidean 115
Tabel 4.5. Contoh hasil ekstraksi ciri dari metode GLCM pada keempat sudut 116
Tabel 4.6. Tingkat keterepisahan antar jenis cacat ciri GLCM berdasarkan jarak euclidean 116
Tabel 4.7. Contoh hasil ekstraksi ciri metode GIM 118
Tabel 4.8. Tingkat keterepisahan antar jenis cacat ciri GIM berdasarkan jarak euclidean 119
Tabel 4.9. Nilai FDR elemen ciri yang telah disortir dari terbesar ke terkecil pada setiap pasangan kelas. 120
Tabel 4.10. Matriks kesalahan hasil klasifikasi ciri F1 (HST) dengan pengklasifikasi Bayes..... 122
Tabel 4.11. Hasil sensitivitas dan spesifisitas pengklasifikasi Bayes..... 122
Tabel 4.12. Hasil sensitivitas dan spesifisitas pengklasifikasi MLP 10 124
Tabel 4.13. Sensitifitas dan spesifisitas pengklasifikasi KNN dengan nilai K=1 125
Tabel 4.14. Sensitifitas dan spesifisitas fuzzy-KNN dengan nilai K=4..... 126
Tabel 4.15. Nilai sensitifitas dan spesifisitas pengkalsifikasi SVM kelas jamak127
Tabel 4.16. Nilai akurasi rata-rata pengklasifikasi Bayes pada seluruh metode ekstraksi ciri dan kombinasinya 129

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Identifikasi Cacat Pengelasan pada Citra Digital Film Radiografi Industri
MUHTADAN, Dr. Ir. Risanuri Hidayat, M.Sc.; Widyawan, S.T., M.T., Ph.D.; Prof. Dr-Ing. Fahmi Amhar
Universitas Gadjah Mada, 2015 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 4.17. Hasil akurasi rata-rata pada setiap variasi jumlah neuron lapisan tersembunyi pada MLP 130
Tabel 4.18. Hasil akurasi dengan pengklasifikasi KNN 131
Tabel 4.19. Hasil akurasi dengan pengklasifikasi fuzzy-KNN..... 132
Tabel 4.20. Nilai akurasi rata-rata pengklasifikasi SVM kelas jamak pada seluruh metode ekstraksi ciri dan kombinasinya 133
Tabel 4.21. Perbandingan tingkat akurasi berbagai pengklasifikasi menggunakan ekstraksi ciri tunggal 134
Tabel 4.22. Perbandingan tingkat akurasi berbagai pengklasifikasi menggunakan ekstraksi ciri kombinasi 2 metode 134
Tabel 4.23. Perbandingan tingkat akurasi berbagai pengklasifikasi menggunakan ekstraksi ciri kombinasi 3 metode 135