DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ii
PERNYATAAN KEASLIAN DAN BEBAS PLAGIAT iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR SINGKATAN/NOTASI xv
DAFTAR LAMPIRAN xviii
ABSTRAK xix
ABSTRACT xx

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Perumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Batasan dan Asumsi Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
1.6 Sistematika Penulisan 4

BAB II LANDASAN TEORI 5
2.1 Kualitas 5
2.2 *Critical to Quality* (CTQ) 5
2.3 Pengendalian Kualitas 6
2.3.1 Pengertian Pengendalian Kualitas 6
2.3.2 Tujuan Pengendalian Kualitas 6
2.4 Kecacatan (*Defectiveness*) 7
2.5 Cacat (*Defect*) 7
2.5.1 Pengertian Cacat 7
2.5.2 Jenis Cacat Produk 8

2.5.3 *Recyclable* 8
2.5.4 *Non-Recyclable* 9
2.5.5 *Rework* 10
2.6 Citra Digital 10
2.7 Pengolahan Citra 11
2.8 *Machine Learning* 11
2.8.1 *Supervised Machine Learning* 12
2.8.2 *Unsupervised Machine Learning* 13
2.8.3 *Semi-Supervised Machine Learning* 13
2.9 *Computer Vision* 14
2.10 *Object Detection* 14
2.11 *Deep Learning* 15
2.12 *Convolutional Neural Network* (CNN) 17
2.12.1 *Convolutional Layer* 18
2.12.2 *Pooling Layer* 20
2.12.3 *Reactified Linear Unit* (ReLU) 21
2.12.4 *Fully Connected Layer* 22
2.13 *You Only Look Once* (YOLO) 24
2.13.1 YOLOv8 25
2.13.2 Arsitektur YOLOv8 25
2.14 Data Augmentasi 27
2.15 *Dataset Split* 28
2.16 *Hyperparameter* 29
2.17 *Confusion matrix* 30
2.18 Perancangan Sistem Deteksi 31
2.19 Metode Deteksi 31
2.20 Prinsip Perancangan 33
2.21 Arsitektur Perancangan Sistem Deteksi 33
2.22 *Dashboard* 34
2.22.1 Pengertian *Dashboard* 34
2.22.2 Jenis-Jenis *Dashboard* 34

2.22.3 Komponen *Dashboard* 35
2.22.4 Karakteristik *Dashboard* 36
2.23 Uji Statistik Non-Parametrik 37
2.24 Uji *Wilcoxon Signed-Rank* 37
2.24.1 Pengertian Uji *Wilcoxon Signed-Rank* 37
2.24.2 Hipotesis Uji *Wilcoxon Signed-Rank* 38
2.24.3 Perhitungan Uji *Wilcoxon Signed-Rank* 38
2.25 Analisis Kelayakan Biaya 40
2.25.1 Biaya Investasi Awal 40
2.25.2 Biaya Operasional 41
2.25.3 Arus Kas (*Cash Flow*) 41
2.25.4 Nilai Residu 41
2.25.5 *Net Present Value* 41
2.25.6 *Internal Rate of Return* 42
2.25.7 *Benefit Cost Ratio* 43
2.25.8 *Payback Period* 43
2.25.9 *Discounted Payback Period* 44
2.26 *Python* 44
2.27 Popok 45
2.27.1 Pengertian Popok 45
2.27.2 Fungsi Popok 45
2.27.3 Struktur dan Material Inti Popok 45
2.27.4 Cacat Popok 46
2.27.4.1 Pengertian Cacat Popok 46
2.27.4.2 Jenis-Jenis Cacat Popok 47
2.28 Penelitian Terdahulu 55

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 59
3.1 Objek Penelitian 59
3.2 Karakteristik Sistem Inspeksi Kualitas 59
3.3 Alat dan Bahan 60

3.3.1 Alat yang digunakan dalam penelitian 60
3.3.2 Bahan yang digunakan 61
3.3 Pengumpulan Data 61
3.4 Kerangka Penelitian 62
3.5 Tahap Pengolahan Data 64
3.5.1 Persiapan Data 64
3.5.1.2 Augmentasi Data 64
3.5.1.3 *Data Split* (Pembagian *Dataset*) 64
3.5.2 Pengembangan Model 65
3.5.2.1 Konfigurasi Lingkungan Pelatihan 65
3.5.2.2 Pelatihan Model 65
3.5.2.3 Validasi Model 65
3.5.3 Pengujian Model Statis 66
3.5.4 Pembuatan Sistem *Dashboard* Deteksi 66
3.5.5 Pengujian Sistem *Dashboard* Secara *Real-time* 66
3.5.6 Evaluasi Performansi 66
3.5.7 Perbandingan Sistem Eksisting Dan Sistem Usulan 67
3.5.7.1 Perbandingan Sistem Eksisting Dan Sistem Usulan 67
3.5.7.2 Uji Statistik 67
3.5.8 Tahap Analisis Kelayakan Biaya 67
3.6 Analisis Hasil 72
3.7 Kesimpulan dan Saran 72

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 73
4.1 Pengumpulan Data 73
4.1.1 Data Produksi dan Kecacatan Produk 73
4.1.2 Identifikasi dan Rekapitulasi Jenis Cacat 73
4.1.3 Data Pengambilan Citra Produk 74
4.1.4 Rekapitulasi Data Citra Awal 74
4.2 Pengolahan Data 75
4.2.1 Persiapan *Dataset* 75

4.2.1.1 *Data Labeling* 75
4.2.1.2 Augmentasi Data 78
4.2.1.3 Pembagian *Dataset* (*Dataset Split*) 85
4.2.2 Tahap Pengembangan model YOLOv8 86
4.2.3. Tahap Pengujian Model Statis (*Offline*) 91
4.2.4. Tahap Pembuatan *Sistem Dashboard* Deteksi 96
4.2.5 Tahap Pengujian Sistem Deteksi *Real-time* 108
4.2.6 Tahap Evaluasi Performansi Sistem *Real-time* 111
4.2.7 Tahap Perbandingan Evaluasi Performa Sistem 115
4.2.7.1 Perbandingan Evaluasi Performa Sistem Eksisting Dengan Sistem Usulan 115
4.2.7.2 Uji Statistik *Signed-Rank* 117
4.2.8 Analisis Kelayakan Biaya 122
4.3 Analisis Hasil 129
4.3.1 Analisis Penempatan Deteksi 129
4.3.2 Analisis Performa *Training* Model 134
4.3.3 Analisis Hasil Pengujian Statis 135
4.3.4 Analisis Hasil Pengujia *Real-time* 135
4.3.5 Analisis Sistem Usulan *Dashboard* 136
4.3.6 Analisis Perbandingan Sistem Eksisting dengan Sistem Usulan 137
4.3.7 Analisis Kelayakan Biaya 137

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 139
5.1 Kesimpulan 139
5.2 Saran 140
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Struktur dan material inti popok 46
Tabel 2.2 Penelitian terdahulu 55
Tabel 3.1 Karakteristik sistem eksisting 59
Tabel 3. 2 Spesifikasi perangkat keras 60
Tabel 3. 3 Spesifikasi perangkat lunak 61
Tabel 4.1 Data produksi dan kecacatan produk 73
Tabel 4.2 Jenis dan jumlah cacat produk popok per periode 73
Tabel 4.3 *Setup* pengambilan citra 74
Tabel 4.4 Rekapitulasi gambar awal per kelas 75
Tabel 4.5 Definisi kelas dan kriteria *bounding box* 75
Tabel 4.7 Tahapan proses anotasi 76
Tabel 4.8 Hasil anotasi *dataset* 77
Tabel 4.9 Teknik augmentasi 78
Tabel 4.10 Citra setelah augmentasi 84
Tabel 4.11 Hasil pembagian *dataset* 85
Tabel 4.12 Konfigurasi model *training* YOLOv8 87
Tabel 4.13 Hasil *training* model YOLOv8 89
Tabel 4.14 Analisa perbandingan antara *training* dengan *validation* 90
Tabel 4.15 Hasil pemeriksaan *training* dan pemilihan model terbaik 91
Tabel 4.16 *Confusion matrix* keseluruhan model 93
Tabel 4.17 Hasil performa dari pengujian statis 94
Tabel 4.18 Metrik evaluasi keseluruhan 95
Tabel 4.19 Spesifikasi pengujian *real-time* 108
Tabel 4.20 Rincian pengujian *real-time* per hari dan sesi 109
Tabel 4.21 Hasil deteksi *real-time* 109
Tabel 4.22 Ringkasan hasil pengujian 110
Tabel 4.23 Distribusi jenis cacat terdeteksi 110
Tabel 4.24 *Confusion matrix* pengujian *real-time* 111
Tabel 4.25 *Confusion matrix* pengujian real-time 112

Tabel 4.26 metrik evaluasi per jam pengujian *real-time* 112
Tabel 4.27 metrik evaluasi keseluruhan pengujian *real-time* 113
Tabel 4.28 *Confusion matrix* per kelas pengujian *real-time* 114
Tabel 4.29 Evaluasi performa per kelas pengujian *real-time* 114
Tabel 4.30 Performa inferensi *real-time* 115
Tabel 4.31 Perbandingan performa evaluasi sistem eksisting dengan sistem usulan... 115
Tabel 4.32 Ringkasan rata-rata perbandingan sistem esksiting dan usulan 117
Tabel 4.33 Hasil perhitungan metrik evaluasi uji *Wilcoxon signed-rank* 118
Tabel 4.34 Data mentah dan perhitungan selisih 118
Tabel 4.35 *Ranking* 119
Tabel 4. 36 Frekuensi nilai $|D|$ 121
Tabel 4.37 Rincian asumsi biaya perangkat keras 122
Tabel 4. 38 Asumsi biaya operasional (OPEX) tahunan 123
Tabel 4. 39 Asumsi *capital budgeting* 124
Tabel 4. 40 Arus kas bersih 124
Tabel 4. 41 Penentuan faktor diskonto 125
Tabel 4. 42 Perhitungan *Internal rate of return* 126

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses sederhana pengolahan citra 11
Gambar 2.2 Penerapan *object detection* 15
Gambar 2.3 Struktur *layer* arsitektur *neural network*..... 16
Gambar 2.4 Arsitektur *Convulutional Neural Network*..... 18
Gambar 2.5 Ilustrasi *kernel* 19
Gambar 2.6 Ilustrasi *stride* 19
Gambar 2.7 Ilustrasi *padding* atau *zero padding*..... 20
Gambar 2.8 Operasi *max* dan *average pooling layer* 21
Gambar 2.9 Grafik fungsi aktivasi ReLU..... 22
Gambar 2.10 Operasi ReLU 22
Gambar 2.11 *Fully connected layer* 23
Gambar 2.12 *Softmax activation function* 23
Gambar 2.13 Sistem deteksi YOLO 24
Gambar 2.14 Arsitektur YOLOv8 27
Gambar 2.15 Data augmentasi..... 28
Gambar 2.16 Parameter *confusion matrix* 30
Gambar 2.17 Cacat *big pulp melipat* 47
Gambar 2.18 Cacat *side tape* kosong 48
Gambar 2.19 Cacat PE (gambar) tidak stabil 48
Gambar 2.20 Cacat sobek..... 49
Gambar 2.21 Cacat *backover area leg* sobek 50
Gambar 2.22 Cacat ketidakstabilan posisi center 50
Gambar 2.23 Cacat *cuff* panjang sebelah..... 51
Gambar 2.24 Cacat *final cutting* geser 52
Gambar 2.25 Cacat *frontal* tidak stabil..... 52
Gambar 2.26 Cacat lipatan produk miring 53
Gambar 2.27 Cacat *leg* elastis putus..... 53
Gambar 2.28 Cacat *waist* lepas..... 54
Gambar 2.29 Cacat *pad* melipat 54

Gambar 2.30 Cacat *outer* tidak rata 55
Gambar 3.1 Kerangka penelitian 63
Gambar 3.2 *Flowchart* pengolahan data 69
Gambar 4.1 Hasil *labeling bounding box* 77
Gambar 4.2 Visualiasi teknik *flip* 79
Gambar 4.3 Visualisasi teknik 90° *rotate* 79
Gambar 4.4 Visualisasi teknik *rotation* 80
Gambar 4.5 Visualisasi teknik *grayscale* 80
Gambar 4.6 Visualisasi teknik *saturation* 81
Gambar 4.7 Viualisasi teknik *brightness* 81
Gambar 4.8 Visualisasi teknik *exposure* 82
Gambar 4.9 Visualisasi teknik *blur* 82
Gambar 4.10 Visualisasi teknik *noise* 83
Gambar 4.11 Visualisasi teknik *motion blur* 83
Gambar 4.12 Visualisasi teknik *camera gain* 84
Gambar 4.13 Alur pembagian *dataset* 85
Gambar 4.14 *training* dan *validation box over loss* 89
Gambar 4.15 *Precision*, *recall*, mAP50, dan Map50-95 dalam *epochs* 90
Gambar 4.16 *Confusion matrix* keseluruhan model 94
Gambar 4.17 Arsitektur sistem 97
Gambar 4.18 Tampilan utama sistem *dashboard* 106
Gambar 4.19 Tampilan utama sistem *dashboard* 106
Gambar 4.20 Tampilan *live feed bounding box* 107
Gambar 4.21 Tampilan *counter* 107
Gambar 4.22 Tampilan histori deteksi 108
Gambar 4.23 *Confusion matrix* pengujian *real-time* 111
Gambar 4.24 Proses deteksi dan penempatan deteksi 129

DAFTAR SINGKATAN/NOTASI

SINGKATAN

CNN	: *Convolutional Neural Network*
YOLO	: *You Only Look Once*
CTQ	: *Critical to Quality*
TQM	: *Total Quality Management*
QbD	: *Quality by Design*
MLP	: *Multi-Layer Perception*
ANN	: *Artificial Neural Network*
FNN	: *Feedforward Neural Network*
RNN	: *Recurrent Neural Network*
ReLU	: *Reactified Linear Unit*
PANet	: *Path Aggregation Network*
TP	: *True Positive*
FP	: *FalsePositive*
FN	: *FalseNeagtive*
TN	: *True Negative*
FNR	: *FalseNegative Rate*
FPR	: *FalsePostive Rate*
NPV	: *Net Present Value*
IRR	: *Internal Rate of Return*
PP	: *Payback Period*
DPP	: *Discounted Payback Period*
OPEX	: *Operating Expenditure*
CAPEX	: *Capital Expenditure*
PV	: *Present Value*

NOTASI

S(i,j)	: *Output* konvolusi pada posisi (i,j) disebut juga *feature map*
I	: *Input layer* atau citra *input*

k : Kernel atau filter yang digunakan

(i,j) : Koordinat posisi pada *output feature map*

m, n : Indeks yang digunakan untuk iterasi pada kernel

I(i+m,j+n) : Nilai pixel pada *input* di posisi (i+m,j+n)

K(m,n) : Nilai pada kernel di posisi (m,n)

$\sum m \sum n$: Simbol penjumlahan untuk semua nilai m dan n dalam ukuran kernel

$\times$: Operasi konvolusi (*cross-correlation*)

a.b : Operasi *dot product* antara vektor a dan vektor b

a_i : Elemen ke-i dari vektor a (nilai dari *input layer*)

b_i : Elemen ke-i dari vektor b (nilai dari kernel)

n : Jumlah total elemen dalam vektor

$\sum n_{i=1}$: Penjumlahan dari indeks i=1 sampai i=n

f(x) : Fungsi aktivasi ReLU yang menghasilkan *output*

x : Nilai *input* yang masuk ke fungsi aktivasi

max (x,0) : Fungsi maksimum yang memilih nilai terbesar antara x dan 0

0 : Nilai ambang batas (*treshold*) untuk ReLU

D_i : Selisih nilai pada pasangan data ke-i

$X_{usulan,i}$: Nilai hasil pengukuran sistem usulan pada data ke-i

$X_{eksisting,i}$: Nilai hasil pengukuran sistem eksisting pada data ke-i

$|D_i|$: Nilai absolut dari pasangan data ke-i

R_i^+ : Peringkat data ke-i yang memiliki selisih bertanda positif

R_i^- : Peringkat data ke-i yang memiliki selisih bertanda negatif

W^+ : Jumlah peringkat bertanda positif

W^- : Jumlah peringkat bertanda negatif

n : Jumlah pasangan data yang digunakan dalam pengujian setelah selisih bernilai nol dihilangkan

Z : Nilai statistik uji *Wilcoxon* dengan pendekatan distribusi normal

σw : Standar deviasi teoritis dari statistik *Wilcoxon*

t_j : Jumlah data yang memiliki nilai absolut selisih sama pada kelompok *ties* ke-j

$\sum t_j(t_j^2 - 1)$: Faktor koreksi untuk data yang memiliki nilai peringkat sama atau *ties*

i : Indeks pasangan data, dengan i = 1, 2, 3, ..., n

j : Indeks kelompok *ties* pada data yang memiliki nilai absolut selisih sama

CF_t : Arus kas pada periode *t*

$Benefit_t$: Manfaat atau pendapatan yang diperoleh pada periode *t*

$OPEX_t$: Biaya operasional pada periode *t*

RV : Nilai residu

p : Persentase nilai sisa terhadap investasi awal

I_0 : Investasi awal

r : *Discount rate*

n : Umur ekonomis proyek (tahun)

PV_{CF} : Nilai sekarang dari arus kas tahunan

PV_{residu} : Nilai sekarang dari nilai residu

r_1 : *Discount rate* yang menghasilkan NPV positif

r_2 : *Discount rate* yang menghasilkan NPV negatif

NPV_1 : NPV *pada* r_1 (positif)

NPV_2 : NPV *pada* r_2 (negatif)

$PV_{CF/tahun}$: Nilai sekarang arus kas per tahun

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Gambar Perusahaan 1
Lampiran B Gambar Ruang Produksi 2
Lampiran C Gambar Mesin 3d 3
Lampiran D Kode Program *Backend Dashboard* 4
Lampiran E Kode Program Tampilan Antarmuka (*Frontend*) 13
Lampiran F *Running* Program Sistem Deteksi *Dashboard* 45
Lampiran G Perhitungan *Wilcoxon Signed-Rank* 46