

## ABSTRAK

**Nama** : Muftia Hanani  
**Program Studi** : Teknologi Industri Pertanian  
**Judul** : Rancang Bangun Sistem Prediksi Dosis Radiasi Film Gafchromic Menggunakan *Machine Learning* Berbasis Citra *Scanner* untuk Iradiasi Umbi Bawang Merah  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Syahril Makosim, M.Si., IPM.  
Ir. Darti Nurani, M.Si.

Iradiasi pangan merupakan teknologi pascapanen yang efektif untuk menghambat perkecambahan bawang merah. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem prediksi dosis radiasi berbasis pembelajaran mesin menggunakan citra hasil pemindaian sebagai alternatif yang mendukung digitalisasi dosimetri. Film Gafchromic HD-V2 diradiasi menggunakan Gamma Cell 220 pada delapan tingkat dosis (0–500 Gy). Dataset terdiri dari 80 sampel film yang dipindai menggunakan *scanner* Canon PIXMA G2010 dan dianalisis dengan spektrofotometer sebagai pembanding. Sistem pembelajaran mesin dikembangkan menggunakan algoritma regresi linier dan *random forest* dengan ekstraksi 41 fitur warna RGB. Validasi biologis dilakukan pada umbi bawang merah yang diiradiasi dosis 150 Gy dengan pengamatan pertumbuhan akar selama 10 hari. Kedua algoritma memberikan kinerja pelatihan sangat baik dengan  $R^2$  di atas 0,99, namun *random forest* menunjukkan stabilitas lebih tinggi dibandingkan regresi linier ( $p < 0,05$ ). Spektrofotometer memberikan konsistensi temporal yang superior dengan  $R^2$  0,9956–0,9829 serta prediksi dosis 150 Gy yang lebih akurat. Validasi biologis mengonfirmasi efektivitas sistem dengan penghambatan perkecambahan sebesar 87,0% ( $p < 0,001$ ), di mana kelompok iradiasi hanya menunjukkan 7,5% perkecambahan dibandingkan 57,5% pada kelompok kontrol. Penelitian ini membuktikan kelayakan konsep dosimetri berbasis *scanner* dan *machine learning* sebagai pendekatan praktis untuk mendukung teknologi iradiasi pangan, sekaligus menegaskan perlunya standarisasi protokol guna meningkatkan konsistensi dan reliabilitas sistem.

Kata kunci: iradiasi pangan, dosimetri film radiokromik, *machine learning*

## **ABSTRACT**

*Food irradiation is an effective postharvest technology to inhibit sprouting in shallots. This study aimed to develop a Machine Learning–based radiation dose prediction system using scanned film images as an alternative that supports the digitalization of dosimetry. Gafchromic HD-V2 films were irradiated using a Gamma Cell 220 at eight dose levels (0–500 Gy). The dataset consisted of 80 film samples scanned with a Canon PIXMA G2010 scanner and analyzed with a spectrophotometer for comparison. The Machine Learning system was developed using linear regression and Random Forest algorithms with 41 extracted RGB color features. Biological validation was carried out on shallot bulbs irradiated at 150 Gy with root growth monitored for 10 days. Both algorithms achieved excellent training performance with  $R^2$  values above 0.99, but Random Forest demonstrated higher stability compared to linear regression ( $p < 0.05$ ). The spectrophotometer provided superior temporal consistency with  $R^2$  values of 0.9956–0.9829 and better prediction of the 150 Gy dose. Biological validation confirmed the system’s effectiveness with 87.0% sprouting inhibition ( $p < 0.001$ ), where irradiated groups showed only 7.5% sprouting compared to 57.5% in the control. This study demonstrates the feasibility of scanner- and Machine Learning–based dosimetry as a practical approach to support food irradiation technology, while highlighting the need for standardized protocols to improve system consistency and reliability.*

**Keywords:** *food irradiation, radiochromic film dosimetry, machine Learning*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	v
ABSTRAK .....	vi
<i>ABSTRACT</i> .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Kerangka Pemikiran .....	3
1.4 Maksud Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.6 Hipotesis .....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Iradiasi Pangan .....	6
2.1.1 Definisi dan Prinsip Dasar Iradiasi Pangan .....	6
2.1.2 Manfaat dan Aplikasi dalam Teknologi Pascapanen .....	6
2.1.3 Standar Keamanan dan Regulasi Iradiasi Pangan .....	7
2.1.4 Jenis-Jenis Radiasi yang Digunakan .....	8
2.1.5 Fasilitas dan Peralatan <i>Gamma Cell Irradiator</i> .....	10
2.2 Iradiasi Bawang .....	11
2.2.1 Karakteristik Pascapanen Bawang Merah .....	11
2.2.2 Masalah Perkecambahan dan Kerusakan Pascapanen .....	12
2.2.3 Dosis Iradiasi Optimal untuk Bawang Merah .....	13
2.2.4 Justifikasi Pemilihan Dosis 150 Gy untuk Bawang Merah .....	13
2.3 Dosimetri Radiasi .....	15
2.3.1 Prinsip Dasar Dosimetri .....	15
2.3.2 Pentingnya Validasi Dosis dalam Iradiasi Pangan .....	15
2.3.3 Jenis-jenis Dosimeter Rutin .....	16
2.4 <i>Machine Learning</i> dalam Dosimetri .....	17
2.4.1 Penerapan AI/ML dalam Dosimetri dan Aplikasi Radiasi .....	17
2.4.2 Algoritma <i>Machine Learning</i> untuk Analisis Film Dosimetri .....	17
2.4.3 Regresi Linier dalam Prediksi Dosis Film Radiokromik .....	18
2.4.4 <i>Random Forest</i> untuk Dosimetri Film Multi-parameter .....	18
2.4.5 Penelitian Terdahulu ML untuk Dosimetri .....	19
2.5 Pemrosesan Citra Digital.....	20
2.5.1 Prinsip Dasar Pemrosesan Citra .....	20
2.5.2 Ekstraksi Fitur Warna ( <i>RGB Values</i> ).....	21
2.5.3 <i>Scanner</i> sebagai Alat Akuisisi Citra .....	22
2.5.4 <i>Preprocessing</i> Citra untuk Analisis Dosimetri .....	22

2.5.5	Korelasi Perubahan Warna dengan Dosis Radiasi .....	23
2.5.6	Metrik Evaluasi .....	24
BAB 3	METODE PENELITIAN .....	25
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian .....	25
3.2	Alat dan Bahan .....	25
3.2.1	Alat .....	25
3.2.2	Bahan .....	26
3.3	Rancangan Penelitian .....	26
3.3.1	Variabel Penelitian .....	26
3.4	Prosedur Penelitian .....	27
3.4.1	Tahap I – Pengembangan Sistem Prediksi Dosis Radiasi .....	27
3.4.2	Validasi Biologis pada Bawang Merah .....	30
3.5	Analisis Data .....	30
3.5.1	Metrik Evaluasi Model .....	30
3.5.2	Analisis Statistik .....	31
3.6	Kriteria Evaluasi.....	31
3.6.1	Kriteria Keberhasilan Sistem ML .....	31
3.6.2	Kriteria Efektivitas Biologis.....	31
BAB 4	HASIL DAN ANALISIS HASIL .....	34
4.1	Tahap I – Pengembangan Sistem Prediksi Dosis Radiasi .....	34
4.1.1	Pemrosesan Awal Data Film Gafchromic .....	34
4.1.2	Validasi Kualitas Pemrosesan.....	34
4.1.3	Karakteristik Fitur Utama.....	36
4.1.4	Pengembangan Model <i>Machine Learning</i> .....	36
4.1.5	Evaluasi Kinerja Model.....	39
4.1.6	Perbandingan dengan Metode Konvensional Spektrofotometer.....	41
4.2	Tahap II – Validasi Biologis pada Bawang Merah.....	44
4.2.1	Protokol dan Pelaksanaan Validasi.....	44
4.2.2	Perkembangan Perkecambahan Harian.....	44
4.2.3	Kondisi Akhir dan Efek Samping.....	45
4.2.4	Efektivitas Penghambatan .....	46
4.3	Analisis Statistik .....	47
4.3.1	Uji Statistik Validasi Biologis .....	47
4.3.2	Perbandingan Kinerja Model <i>Machine Learning</i> .....	48
4.3.3	Analisis Korelasi Temporal.....	48
BAB 5	PEMBAHASAN DAN PENDAPAT .....	48
5.1	Tahap I – Pengembangan Sistem Prediksi Dosis Radiasi .....	49
5.1.1	Validasi Konsep Dosimetri Berbasis Citra <i>Scanner</i> .....	49
5.1.2	Analisis Multi-Parameter ( <i>Random Forest vs Regresi Linier</i> ).....	49
5.1.3	Fenomena Pergeseran Domain dan Implikasinya .....	50
5.1.4	Interpretabilitas Model dan Fitur Penting .....	51
5.1.5	Kelemahan Regresi Linier dan Keunggulan <i>Random Forest</i> .....	51
5.2	Tahap II – Validasi Biologis pada Bawang Merah.....	52
5.2.1	Signifikansi Penghambatan Perkecambahan.....	52
5.2.2	Korelasi Prediksi Teknis dengan Efektivitas Biologis .....	53
5.3	Perbandingan dengan Metode Konvensional.....	53
5.4	Implikasi terhadap Pengembangan Teknologi Dosimetri .....	53
5.5	Keterbatasan Penelitian.....	54

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN .....	55
6.1 Kesimpulan .....	55
6.2 Saran .....	55
DAFTAR REFERENSI .....	56
LAMPIRAN .....	60

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis Pangan, Tujuan Iradiasi Dan Dosis Serap Maksimum .....	14
Tabel 3.1 Dosis Target dan Waktu Iradiasi .....	27
Tabel 4.1 Spesifikasi Pemrosesan Citra Film Gafchromic HD-V2 .....	34
Tabel 4.2 Perbandingan Karakteristik Fitur Utama Antar Periode .....	36
Tabel 4.3 Kinerja Pelatihan Model Regresi Linier .....	36
Tabel 4.4 Validasi Silang <i>5-Fold</i> Model Regresi Linier .....	37
Tabel 4.5 Fitur Terpenting Model Regresi Linier .....	37
Tabel 4.6 Kinerja Pelatihan Model <i>Random Forest</i> .....	38
Tabel 4.7 <i>Hyperparameter</i> Optimal <i>Random Forest</i> .....	38
Tabel 4.8 Kepentingan Fitur <i>Random Forest</i> .....	39
Tabel 4.9 Perbandingan Karakteristik Fitur Utama Antar Periode .....	39
Tabel 4.10 Distribusi Kualitas Prediksi (Setelah Koreksi Latar Belakang) .....	40
Tabel 4.11 Metrik Kinerja Model (Setelah Koreksi Latar Belakang) .....	41
Tabel 4.12 Parameter Kalibrasi Spektrofotometer .....	41
Tabel 4.13 Hasil Prediksi Spektrofotometer untuk Dosis 150 Gy.....	43
Tabel 4.14 Perbandingan Stabilitas Temporal Antar Metode .....	43
Tabel 4.15 Rancangan Eksperimen Validasi Biologis .....	44
Tabel 4.16 Jumlah Umbi Berakar per Hari Pengamatan .....	45
Tabel 4.17 Kondisi Akhir Umbi Bawang Merah (Hari ke-10).....	45
Tabel 4.18 Perhitungan Efektivitas Penghambatan Perkecambahan.....	46
Tabel 4.19 Tabel Kontingensi Perkecambahan.....	47
Tabel 4.20 Hasil Uji <i>Chi-Square</i> dan Interval Kepercayaan .....	47
Tabel 4.21 Uji Statistik Perbandingan Model (n=60 sampel) .....	48
Tabel 4.22 Korelasi Fitur Antar Periode .....	48
Tabel L.3.1 Pengamatan Harian Perkembangan Bawang Merah Setelah Iradiasi .....	65
Tabel L.4.1 Deskripsi Fitur yang Diekstraksi dari Citra Film Radiasi .....	67
Tabel L.4.2 Data Absorbansi Film Gafchromic HD-V2 17 April 2025 .....	67
Tabel L.4.3 Data Absorbansi Film Gafchromic HD-V2 3 Juli 2025 .....	68
Tabel L.4.4 Rekapitulasi Akhir Validasi Biologis (Hari ke-10).....	68
Tabel L.5.1 Karakteristik Dataset <i>Machine Learning</i> .....	68
Tabel L.5.2 Parameter Akuisisi Citra.....	69

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian Tahap I – Pengembangan Sistem Prediksi Dosis Radiasi .....	32
Gambar 3.2 Diagram Alir Prosedur Penelitian Tahap II – Validasi Biologis pada Bawang Merah .....	33
Gambar 4.1 Visualisasi deteksi ROI .....	35
Gambar 4.2 Analisis Progesi Dosis 17 April 2025 .....	35
Gambar 4.3 Analisis Progesi Dosis 3 Juli 2025.....	35
Gambar 4.4 Kurva Kalibrasi Spektrofotometer 17 April 2025 .....	42
Gambar 4.5 Kurva Kalibrasi Spektrofotometer 3 Juli 2025 .....	42
Gambar 4.6 Foto Kondisi Akhir Umbi Bawang Merah pada Hari Ke-10.....	46
Gambar 5.2 Fitur Penting <i>Random Forest</i> .....	49
Gambar 5.3 Perbandingan Persentase Perkecambahan Kontrol Vs Iradiasi .....	51
Gambar L.1.1 <i>Gamma Cell 220 Irradiator</i> - BRIN PAIR Jakarta.....	60
Gambar L.1.2 Persiapan Sampel dalam Chamber Iradiasi.....	61
Gambar L.1.3 Pengaturan Parameter Iradiasi.....	61
Gambar L.2.1 <i>Printer Scanner Canon G2730</i> .....	62
Gambar L.2.2 UV-Vis Spectrophotometer Cary Series.....	62
Gambar L.2.3 <i>Standard Operating Procedure (SOP) Spektrofotometer</i> .....	63
Gambar L.3.1 Kondisi Awal Bawang Merah (Hari ke-0).....	64
Gambar L.3.2 Perkembangan Akar - Hari ke-5 (8 Juli) .....	64
Gambar L.3.3 Kondisi Akhir - Hari ke-10 (14 Juli) .....	65

## DAFTAR LAMPIRAN

L.1 Dokumentasi Penelitian .....	60
L.2 Dokumentasi Alat Pembacaan Citra.....	62
L.3 Dokumentasi Validasi Biologis Bawang Merah .....	64
L.4 Data Mentah dan Hasil Pemrosesan.....	67
L.5 Spesifikasi Dataset dan Metadata.....	68
L.6 Kode Program .....	69
L.7 Spesifikasi Teknis.....	71
L.8 Cara Penggunaan.....	71