

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Iradiasi pangan merupakan salah satu teknologi pascapanen yang telah diakui efektivitasnya dalam memperpanjang umur simpan, menghambat perkecambahan, serta mengendalikan mikroorganisme dan hama pada berbagai produk pertanian (Sharma et al., 2022). *International Atomic Energy Agency* (IAEA) telah menegaskan bahwa teknologi ini aman dan efektif untuk diaplikasikan pada lebih dari 60 jenis komoditas pangan, termasuk umbi-umbian (IAEA, 2022). Salah satu komoditas pertanian bernilai ekonomi tinggi yang relevan untuk penerapan teknologi ini adalah bawang merah (*Allium ascalonicum* L.), yang rentan mengalami kerusakan pascapanen akibat proses metabolisme, perkecambahan, dan serangan mikroba (Samiee et al., 2022).

Bawang merah merupakan komoditas hortikultura penting yang berperan sebagai bumbu dasar dalam masakan Indonesia dan memiliki nilai ekonomi strategis dengan tingkat konsumsi yang relatif tinggi (Amalia et al., 2021). Namun, tanpa penanganan pascapanen yang tepat, umbi bawang merah dapat mengalami penurunan kualitas melalui perkecambahan, pembusukan, dan penyusutan berat, yang berujung pada kerugian ekonomi bagi petani dan pedagang (Wiendartun et al., 2021). FAO/IAEA/WHO melalui JECFI merekomendasikan iradiasi hingga 150 Gy untuk menghambat pertunasan bawang merah tanpa menurunkan kualitasnya. Regulasi nasional juga sejalan, di mana BPOM RI (Peraturan No. 3 Tahun 2018) menetapkan dosis maksimum iradiasi umbi-umbian sebesar 150 Gy.

Validasi dosis radiasi yang diterima oleh produk merupakan tahap kritis dalam proses iradiasi untuk menjamin keamanan dan efektivitasnya (Ekpanyaskul et al., 2021). Menurut standar ISO/ASTM 51707:2023, sistem dosimetri yang akurat dan terpercaya adalah persyaratan fundamental untuk proses iradiasi pangan komersial maupun penelitian (*International Organization for Standardization*, 2023). Film Gafchromic, sebagai dosimeter, banyak digunakan karena kemampuannya berubah warna secara proporsional terhadap dosis radiasi yang diterima (Devic & Lewis, 2023). Film Gafchromic tipe HD-V2 secara khusus dirancang untuk aplikasi dosimetri dengan rentang dosis tinggi (10-1000 Gy), menjadikannya ideal untuk penelitian iradiasi pangan yang

umumnya beroperasi pada rentang 0-500 Gy (Massillon-JL et al., 2021).

Meskipun penggunaan film Gafchromic telah menjadi praktik standar dalam dosimetri radiasi, pembacaan film ini umumnya mengandalkan alat spektrofotometer atau densitometer yang memerlukan prosedur laboratorium khusus (Yao et al., 2021). Abdel-Fattah dan Miller (2021) menggarisbawahi bahwa pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer dengan regresi linier telah menjadi metode konvensional yang digunakan untuk mengkuantifikasi dosis yang diserap oleh film Gafchromic. Meskipun fasilitas iradiator (seperti gamma irradiator atau e-beam) telah memiliki perangkat validasi dosis, pengembangan metode alternatif yang lebih sederhana dan berbasis digital dapat memperluas aksesibilitas pengukuran—terutama untuk kalangan peneliti atau industri kecil menengah yang membutuhkan analisis cepat tanpa ketergantungan penuh pada perangkat laboratorium khusus (Juarez-Calderon et al., 2022).

Perkembangan teknologi digital dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) membuka peluang inovasi dalam pembacaan dosis radiasi berbasis citra. Film Gafchromic HD-V2 yang dipindai dengan *Scanner* konvensional dapat dianalisis menggunakan algoritma *machine learning* (ML), seperti regresi linier dan *random forest*, untuk memprediksi dosis radiasi berdasarkan karakteristik warna film (Palmer et al., 2023). Dengan menggunakan dataset dosis yang mencakup rentang 0-500 Gy, model ML dapat dilatih untuk mengenali pola perubahan warna yang terjadi pada film HD-V2 sebagai respons terhadap berbagai tingkat dosis radiasi, memungkinkan prediksi yang akurat untuk aplikasi spesifik seperti dosis 150 Gy yang dibutuhkan untuk iradiasi bawang merah. Pendekatan berbasis ML dalam dosimetri film Gafchromic berpotensi tidak hanya menawarkan solusi yang lebih fleksibel dan ekonomis, tetapi juga meningkatkan akurasi prediksi dosis (Nyflot et al., 2021).

Agar sistem berbasis *machine learning* ini dapat diadopsi secara ilmiah dan praktis, diperlukan perbandingan komprehensif dengan metode konvensional (spektrofotometri dengan regresi linier) untuk mengevaluasi akurasi, reliabilitas, dan konsistensinya. Penelitian ini sejalan dengan tren digitalisasi di bidang teknologi pertanian, khususnya dalam inovasi proses pascapanen (Prakash et al., 2023). Sistem yang dikembangkan tidak hanya mendukung efisiensi validasi iradiasi, tetapi juga berkontribusi pada literatur ilmiah terkait penerapan AI dan ML dalam sektor agroindustri.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan memvalidasi sistem prediksi dosis radiasi film Gafchromic HD-V2 menggunakan pendekatan *Machine Learning* berbasis citra *Scanner*, dengan dataset kalibrasi 0-500 Gy dan fokus aplikasi pada iradiasi dosis 150 Gy untuk umbi bawang merah. Perbandingan performa algoritma regresi linier dan *random forest* dalam memprediksi dosis radiasi berdasarkan citra *scanner*, serta evaluasi terhadap akurasinya relatif terhadap metode konvensional (absorbansi spektrofotometer dengan regresi linier), akan memberikan wawasan berharga mengenai potensi penerapan teknologi digital dalam validasi dosis iradiasi pangan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mengembangkan sistem prediksi dosis radiasi film Gafchromic HD-V2 menggunakan *machine learning* (regresi linier dan *random forest*) berbasis citra *Scanner* dengan dataset kalibrasi 0-500 Gy untuk aplikasi iradiasi umbi bawang merah.
2. Bagaimana perbandingan akurasi antara metode prediksi dosis radiasi berbasis citra *Scanner* menggunakan algoritma regresi linier dan *random forest* dengan metode konvensional absorbansi spektrofotometer menggunakan regresi linier terutama untuk aplikasi dosis 150 Gy pada iradiasi bawang merah.
3. Bagaimana efektivitas sistem prediksi dosis radiasi yang dikembangkan dalam konteks validasi dosis iradiasi umbi bawang merah, dan bagaimana efektivitas dosis 150 Gy yang diprediksi oleh sistem *machine learning* dalam menghambat pertunasan.

1.3 Kerangka Pemikiran

Teknologi iradiasi pangan telah lama digunakan sebagai metode efektif untuk memperpanjang umur simpan hasil pertanian. Pada komoditas bawang merah, salah satu permasalahan utama pascapanen adalah pertunasan yang mempercepat penurunan mutu selama penyimpanan. Berdasarkan Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 3 Tahun 2018 tentang Pangan Iradiasi, dosis serap maksimum 150 Gy ditetapkan untuk menghambat pertunasan bawang merah selama penyimpanan tanpa menurunkan kualitas gizi secara signifikan.

Validasi dosis iradiasi umumnya dilakukan menggunakan film dosimeter Gafchromic HD-V2 yang dianalisis dengan spektrofotometer. Namun, metode ini memerlukan prosedur laboratorium yang relatif rumit dan tidak selalu praktis untuk diaplikasikan di luar laboratorium khusus. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan alternatif yang lebih sederhana, mudah direplikasi, dan mendukung digitalisasi dosimetri.

Film Gafchromic HD-V2 memiliki karakteristik radiokromik, yaitu perubahan warna yang proporsional terhadap dosis radiasi yang diserap. Perubahan ini dapat ditangkap menggunakan *scanner* konvensional, kemudian dianalisis secara kuantitatif melalui ekstraksi fitur warna. Dengan penerapan algoritma *machine learning*, pola perubahan warna tersebut dapat dimodelkan untuk memprediksi dosis radiasi secara akurat.

Penelitian ini mengembangkan sistem prediksi dosis berbasis citra digital menggunakan dua algoritma *machine learning*: regresi linier, yang sederhana dan mudah diinterpretasi, serta *random forest*, yang mampu menangkap kompleksitas hubungan non-linear antar fitur. Dataset dikembangkan dari film Gafchromic HD-V2 yang diiradiasi dalam rentang 0–500 Gy, dipindai menggunakan *scanner* konvensional, lalu dibandingkan dengan hasil pembacaan spektrofotometer sebagai standar referensi.

Validasi dilakukan secara komprehensif melalui dua tahap: pertama, pengembangan sistem prediksi dosis radiasi; kedua, validasi biologis pada bawang merah yang diiradiasi dosis 150 Gy untuk mengamati penghambatan perkecambahan. Dengan demikian, sistem ini diharapkan tidak hanya terbukti akurat secara teknis, tetapi juga relevan secara biologis.

1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem prediksi dosis radiasi film Gafchromic HD-V2 berbasis citra *scanner* dengan algoritma regresi linier dan *random forest* sebagai alternatif metode validasi sederhana pada aplikasi iradiasi bawang merah. Sistem yang dikembangkan menggunakan dataset kalibrasi 0–500 Gy, dibandingkan kinerjanya dengan metode spektrofotometer pada dosis 150 Gy, serta dievaluasi efektivitasnya melalui validasi biologis untuk mengonfirmasi kemampuan dosis 150 Gy dalam menghambat perkecambahan bawang merah dibandingkan kontrol.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat praktis berupa alternatif metode validasi dosis radiasi berbasis citra yang lebih sederhana untuk mendukung aplikasi iradiasi bawang merah, manfaat ilmiah berupa kontribusi dalam pengembangan metode dosimetri berbasis *machine learning* yang dapat diaplikasikan pada penelitian dan validasi iradiasi pangan, manfaat teknologis berupa dukungan terhadap digitalisasi dosimetri film radiokromik melalui pemanfaatan *scanner* konvensional dan algoritma *machine learning*, serta manfaat adaptif karena metodologi yang dikembangkan berpotensi diaplikasikan pada validasi dosis komoditas pangan lain dengan kebutuhan dosis berbeda.

1.6 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah bahwa sistem prediksi dosis radiasi film Gafchromic HD-V2 menggunakan *machine learning* berbasis citra *scanner* dapat memberikan akurasi prediksi yang sebanding atau lebih baik dibandingkan metode spektrofotometer. Algoritma *random forest* diharapkan menunjukkan performa lebih unggul dibandingkan regresi linier, serta prediksi dosis 150 Gy yang dihasilkan mampu memberikan efektivitas biologis yang signifikan dalam menghambat perkecambahan bawang merah.