



Tersedia online

## AgriHumanis: Journal of Agriculture and Human Resource Development Studies

Halaman jurnal di <http://jurnal.bapeltanjambi.id/index.php/agrihumanis>



### Optimasi Pemutuan Produk Daging Secara Non Destruktif (*State Of The Art*) *Non-Destructive Optimization of Meat Product Quality (State Of The Art)*

Edo Saputra<sup>1,2\*</sup>, Sudirman Sirait<sup>1,3</sup>, Yunisa Tri Suci<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Sekolah Pascasarjana Ilmu Keteknikan Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Borneo Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

<sup>4</sup>Balai Pelatihan Pertanian Jambi, Jambi, Indonesia

\*email: edo.saputra@lecturer.unri.ac.id

#### INFO ARTIKEL

##### Sejarah artikel:

Dikirim 05 Desember 2022

Diterima 15 Januari 2024

Terbit 07 Februari 2024

##### Kata kunci:

Jaringan syaraf tiruan

Mutu

NIR

Pengolahan citra

Produk daging

##### Keywords:

Artificial neural network

Quality

NIR

Image processing

Meat products

#### ABSTRAK

Kualitas produk daging memiliki peranan yang penting dalam industri makanan, terutama dalam hal pengawasan mutu dan keamanan bagi konsumen. Saat ini, identifikasi mutu produk daging secara fisik dilakukan dengan cara manual dan mutu kimia dilakukan secara destruktif. Optimasi pemutuan produk daging secara non destruktif dalam industri pengolahan makanan bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan daya tahan produk daging. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metode non destruktif dalam mendeteksi kualitas internal produk daging melalui teknik pengolahan citra, jaringan syaraf tiruan, dan teknologi *near infrared* (NIR). Teknik pengolahan citra digunakan untuk mendeteksi karakteristik tekstur dan warna daging secara non destruktif. Jaringan syaraf tiruan digunakan untuk mengembangkan model prediktif yang mampu mengidentifikasi kualitas daging berdasarkan citra yang dihasilkan. Teknologi NIR digunakan untuk analisis spektral dan mendeteksi komponen kimia produk daging secara non destruktif. Hasil penelitian ini berpotensi dan berkontribusi penting dalam pengembangan metode non destruktif untuk pemantauan kualitas produk daging, meningkatkan efisiensi serta akurasi dalam pengawasan mutu produk daging. Selain itu, integrasi pengolahan citra, jaringan syaraf tiruan, dan teknologi NIR menawarkan pendekatan yang inovatif dalam peningkatan kontrol kualitas produk daging dan mengoptimalkan pemutuan produk daging secara non destruktif dengan tingkat akurasi yang tinggi.

#### ABSTRACT

*The quality of meat products has an important role in the food industry, especially in terms of quality control and safety for consumers. Currently, physical quality identification of meat products is done manually and chemical quality is done destructively. Optimizing the quality of meat products non-destructively in the food processing industry aims to improve the quality and durability of meat products. This research aims to develop non-destructive method for detecting the internal meat products quality using image processing techniques, artificial neural networks, and near infrared (NIR) technology. Image processing techniques are used to detect the texture and color characteristics of meat non-destructively. Artificial neural networks are used to develop predictive models that are able to identify meat quality based on resulting images. NIR technology is used for spectral analysis and non-destructive detection of chemical components of meat products. The results of this research make an important contribution to the development of non-destructive methods for monitoring the quality of meat products, increasing efficiency and accuracy in monitoring the quality of meat products. In addition, the integration of image processing, artificial neural networks, and NIR technology offers innovative approach improving the quality control of meat products and optimizing the quality of meat products non-destructively with a high level of accuracy.*

##### Kutipan format APA:

Saputra, E., Sudirman, S., &

Yunisa, T. S. (2023).

Optimasi Pemutuan Produk

Daging Secara Non

Destruktif (*State Of The Art*).

*AgriHumanis: Journal of*

*Agriculture and Human*

*Resource Development*

*Studies*, 4(2), 73-86.

## 1. PENDAHULUAN

Industri makanan dan produk daging sangat penting untuk memenuhi kebutuhan pangan di seluruh dunia. Namun, kualitas internal produk daging adalah faktor utama yang memengaruhi

keberhasilan dan kepercayaan konsumen terhadap produk tersebut. Kualitas internal produk daging dapat mencakup berbagai atribut seperti tekstur, kekenyalan, dan komposisi kimia sehingga terjamin keamanan dan kepuasan konsumen. Salah satu aspek penting dalam pemrosesan daging adalah pemutuan, metode yang digunakan untuk mengawetkan produk daging sampai aman dikonsumsi dalam jangka waktu yang lama dan bebas dari kontaminasi mikroba yang dapat merusak mutu daging. Pemutuan produk daging merupakan proses penting dalam industri pengolahan daging yang memiliki dampak signifikan terhadap kualitas, keamanan, dan efisiensi produksi. Proses pemutuan bertujuan untuk memeriksa dan menilai aspek dari produk daging seperti kandungan kimia, tekstur, serta keberadaan kontaminasi dari bakteri pembusuk. Selama ini, metode pemutuan produk daging telah mengalami perkembangan dari metode destruktif menjadi teknik non destruktif. Keuntungan menggunakan metode non destruktif adalah evaluasi produk daging tanpa merusak bahan sehingga mampu mengurangi limbah dalam kegiatan produksi. Beberapa metode yang dapat mendeteksi kualitas internal produk daging secara non destruktif yang saat ini berkembang pesat diantaranya teknik pengolahan citra, jaringan saraf tiruan, dan teknologi near infrared (NIR). Dalam hal ini, penggunaan teknik deteksi kualitas internal produk daging menjadi semakin penting dilakukan, karena produk daging yang tidak memenuhi standar kualitas dapat mengakibatkan kerugian produsen dan konsumen.

Teknik pengolahan citra merupakan teknik pemindaian dan pemrosesan citra untuk menganalisis atribut internal produk daging seperti tekstur dan keasaman. Keunggulan menggunakan citra digital dalam menentukan karakteristik fisik dan kimia produk daging adalah waktu yang terpakai lebih cepat dan tingkat kesalahan lebih rendah. Untuk meningkatkan akurasi dalam menentukan komponen kimia pada produk daging maka digunakan teknik gelombang ultrasonik. Beberapa penelitian terkait aplikasi teknik pengolahan citra diantaranya tren aplikasi teknologi pencitraan untuk pemeriksaan ikan dan produk ikan (Mathiassen *et al.* (2011)), metode berbasis pengolahan citra untuk menilai kualitas dan kesegaran ikan (Dutta *et al.* (2016)), penilaian kesegaran ikan mas air tawar (*Sparus aurata*) dengan penglihatan mesin berdasarkan perubahan warna insang dan mata (Dowlati *et al.* (2013)), penggunaan cahaya terpolarisasi dalam analisis citra dengan penerapan pada analisis warna mata ikan selama penyimpanan (Balaban dan Alçiçek (2015)), dan analisis citra digital sebagai alat alternatif untuk penilaian kualitas ayam (Barbin *et al.* (2016)). Penelitian tentang gelombang ultrasonik telah dilakukan oleh Wieja *et al.* (2021) melalui identifikasi dan investigasi daging yang dipisahkan secara mekanis (MSM) dengan metode ultrasonik yang inovatif, penggunaan ultrasonik untuk meningkatkan sifat fungsional dan pencernaan invitro kompleks aktomiosin selama penyimpanan daging (Jiang *et al.* (2021)), efek pra-perawatan ultrasound pada kualitas, nutrisi dan senyawa volatil dari daging yak yang diawetkan kering (Bao *et al.* (2022)), dan analisis kemampuan daging cumi jumbo (*Dosidicus gigas*) dengan perlakuan ultrasonik menggunakan metodologi permukaan respon (Hu *et al.* (2014)).

Dalam beberapa tahun terakhir ini, perkembangan identifikasi mutu produk daging menggunakan jaringan syaraf tiruan telah banyak diteliti. Jaringan syaraf tiruan merupakan salah satu struktur komputasi yang dikembangkan dari proses sistem jaringan syaraf di dalam otak manusia. Penelitian terkait jaringan syaraf tiruan telah dilakukan oleh Pirsahab *et al.* (2020) melalui pembentukan polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) pada produk daging panggang dengan menganalisis dan pemodelan dengan jaringan syaraf tiruan, Rezende-de-Souza *et al.* (2022) melalui penggunaan data kolorimetri dan jaringan syaraf tiruan untuk penentuan kesegaran ikan, dan Lalabadi *et al.* (2020) mengkategorisasi kesegaran ikan dari fitur warna mata dan insang menggunakan jaringan syaraf tiruan multi-kelas dan mesin pendukung vektor. Metode jaringan syaraf tiruan, memungkinkan analisis yang lebih mendalam, sehingga dapat membantu dalam mengidentifikasi perbedaan kualitas yang mungkin tidak terlihat oleh mata manusia.

Selain teknik pengolahan citra dan jaringan syaraf tiruan, teknologi NIR juga menjadi salah satu metode yang digunakan untuk mendeteksi kualitas produk daging secara non destruktif. NIR memanfaatkan spektroskopi untuk mendeteksi kandungan kimia produk daging tanpa merusak produk tersebut. Teknologi NIR memungkinkan untuk digunakan dalam pemantauan berkelanjutan selama proses produksi dan dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan yang memengaruhi kualitas produk daging. Beberapa penelitian produk daging menggunakan teknologi NIR diantaranya He *et al.* (2013) terkait teknik spektroskopi dan pencitraan non destruktif untuk mengevaluasi kualitas dan penilaian ikan dan produk ikan, spektroskopi NIR dan teknik pencitraan untuk evaluasi kualitas ikan

(Liu et al. (2013)), evaluasi kualitas daging dengan teknik pencitraan hiperspektral (Elmasry et al. (2012)), dan penilaian kualitas daging babi dan kalkun menggunakan spektroskopi FT-IP, kolorimeter, dan analisis citra (Sinanoglou et al. (2018)).

Sampai saat ini beberapa penelitian selalu menggunakan metode destruktif dalam menganalisis mutu internal produk daging, sehingga memerlukan waktu yang lama dan merusak produk daging. Oleh karena itu, pengembangan teknik deteksi kualitas internal non destruktif untuk produk daging sangat relevan untuk digunakan. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengoptimalkan teknik pemutuan produk daging dalam mendeteksi kualitas internal produk daging secara non destruktif menggunakan metode pengolahan citra, jaringan syaraf tiruan, dan teknologi NIR. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang perkembangan teknologi terkini dalam bidang ini, produsen dapat meningkatkan kualitas, mengoptimalkan proses produksi, dan memastikan bahwa produk daging telah memenuhi standar kualitas yang tinggi bagi konsumen.

## 2. STATE OF THE ART

### 2.1. Produk Daging

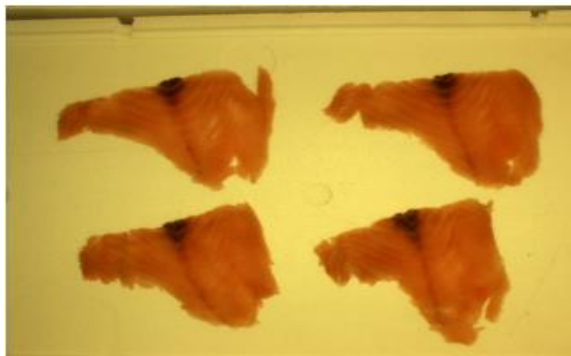
Produk daging merupakan sumber mineral, vitamin, lipid, dan protein lengkap dalam menjaga kesehatan manusia. Apabila produk daging berinteraksi secara fisik dan kimia dengan senyawa-senyawa yang dimasukkan ke dalam produk daging, maka akan menyebabkan perubahan rasa dan penampilan sehingga akan mengurangi penerimaan konsumen terhadap produk daging (Weiss *et al.* 2010). Adeyeye dan Ashaolu (2022) menjelaskan masalah kesehatan masyarakat yang ditimbulkan ketika mengkonsumsi daging apabila produk daging mendapatkan perlakuan suhu tinggi seperti pengasapan, pemanasan, dan pemanggangan. Selain itu, masalah kesehatan juga ditimbulkan apabila masyarakat tidak memiliki pengetahuan tentang mutu higienis produk daging dan cara konsumsinya. Doutoum *et al.* (2022) menjelaskan pengetahuan masyarakat rumah tangga dan restoran memiliki pengetahuan higienis yang dapat diterima dibandingkan dengan populasi pada rumah potong hewan dan pasar.

Prospek produk daging dimasa mendatang seiring dengan berkembangnya perekonomian, produk daging tidak hanya dimanfaatkan untuk menyediakan nutrisi tetapi diperlukan untuk pencegahan penyakit serta meningkatkan mental dan kesejahteraan konsumen (Kumar *et al.* 2012). Ščetar *et al.* (2010) menjelaskan akan terjadi perubahan preferensi konsumen untuk mendorong inovasi dan pengembangan teknologi dalam hal mengawetkan produk daging, misalkan pengemasan, pengasapan, dan penyimpanan. Šimko (2002) menambahkan penilaian terhadap mutu produk daging akan dibutuhkan pada masa mendatang dengan penerapan metode analisis yang tepat, misalnya penentuan mutu daging asap melalui pemeriksaan senyawa *hidrokarbon aromatik polisiklik* (PAH). Luong *et al.* (2022) juga menambahkan pengukuran pH pada produk daging selama penyimpanan merupakan salah satu cara yang efisien untuk memantau kerusakan produk daging yang disebabkan oleh pembusukan mikroba.

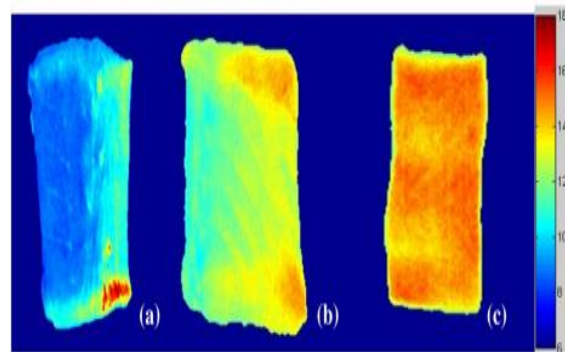
### 2.2. Aplikasi Pengolahan Citra pada Produk Daging

Teknik pengolahan citra merupakan salah satu instrumen yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas dan keamanan produk daging, dapat memberikan informasi spasial yang berkaitan dengan sifat fisik, kimia, dan sensorik daging. Beberapa teknik pengolahan citra yang diterapkan seperti pencitraan hiperspektral, pencitraan resonansi magnetik, pencitraan x-ray, dan pencitraan USG (Sanchez et al. 2022). Caballero et al. (2023) menambahkan bahwa teknik magnetic resonance imaging (MRI) merupakan satu-satunya teknik yang dapat mengesktrak informasi dari bagian dalam sampel daging dan produk daging dengan tingkat akurasi tinggi secara non destruktif. Metodologi yang digunakan dalam teknik MRI diantaranya SE T1, algoritma tekstur, teknik klasifikasi (PCS, PLS), dan prediksi (MLR). Fan dan Su (2022) menyatakan teknik pencitraan warna (RGB) dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas dan mendeteksi kesegaran daging putih secara non destruktif baik di laboratorium maupun di industri. Lu et al. (2022) menyatakan atribut sensori terpenting yang memengaruhi selera konsumen adalah warna dengan parameter yang meliputi kecerahan ( $L^*$ ), kemerahan ( $a^*$ ), kekuningan ( $b^*$ ), putih, dan perbedaan warna total ( $\Delta E$ ). Pencitraan hiperspektral merupakan teknik yang digunakan untuk pemantauan kualitas dan keamanan daging babi dan sapi. Balaban dan Alçiçek (2015) menyatakan analisis citra merupakan sebuah metode objektif untuk mengukur warna dari bahan hasil pertanian

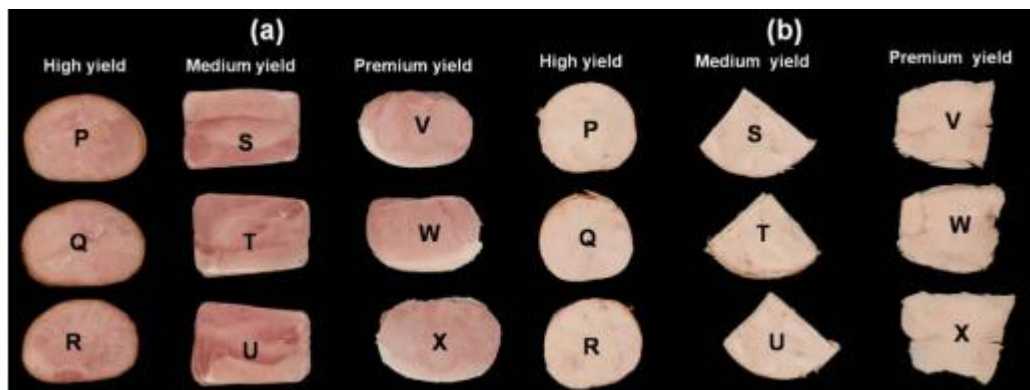
termasuk hasil perikanan. Metode yang dikembangkan adalah pengukuran citra mata serta warna yang dihasilkan pada saat pengukuran. Nilai kecerahan ( $L^*$ ) pada mata ikan yang disimpang dingin mengalami peningkatan selama penyimpanan 7 atau 11 hari, namun mata ikan yang hanya terpapar udara selama penyimpanan pada suhu ruang memiliki nilai kecerahan ( $L^*$ ) yang lebih rendah. Kondisi ikan yang masih basah atau kering, tidak memengaruhi nilai  $L^*$ , namun mata yang diberikan cahaya non-polarisasi memiliki nilai  $L^*$  yang lebih tinggi daripada yang diberikan sinar terpolarisasi. Teknologi pencitraan telah banyak dikembangkan dan menjadi sesuatu yang populer dalam mata rantai industri budidaya ikan dan perikanan. Penggunaan teknologi pencitraan memberikan keuntungan dari segi efektivitas biaya produksi dan penentuan kualitas produk yang dihasilkan juga lebih optimal. Namun, penggunaan teknologi pencitraan memiliki tantangan khusus seperti memiliki aplikasi yang khusus sehingga memudahkan dalam mendeteksi kandungan yang terdapat dalam ikan dan produk ikan (Mathiassen et al., 2011). Beberapa contoh proses pengambilan serta pengolahan citra pada hasil perikanan dan peternakan dapat dilihat pada Gambar 1.



a. Citra irisan ikan salmon (Merkin *et al.*, 2013)



b. Irisan ikan mas (Cheng *et al.*, 2014)



c. Irisan daging babi dan kalkun (Iqbal *et al.*, 2010)

Gambar 1. Pengambilan citra pada hasil peternakan dan perikanan

Dutta et al. (2016) menyatakan bahwa kualitas produk pertanian terutama ikan dipengaruhi oleh penanganan, pengolahan, dan penyimpanan dari produsen ke konsumen. Metode pengolahan citra non destruktif merupakan metoda yang dapat digunakan untuk memprediksi kesegaran ikan. Parameter-parameter perubahan yang terlihat pada ikan selama penyimpanan dikaji melalui perubahan jaringan insang yang tersegmentasi secara otomatis menggunakan filter Haar. Metode ini sudah dapat diterapkan untuk varietas ikan yang berbeda. Selain itu, kesegaran ikan juga dapat dideteksi menggunakan teknik machine vision melalui perubahan warna mata dan insang pada ikan mas air tawar yang dibudidayakan dan yang tidak dibudidayakan (liar). Pengujian dilihat pada nilai kecerahan ( $L^*$ ), warna merah ( $a^*$ ), warna kuning ( $b^*$ ), dan nilai kroma ( $c^*$ ), serta perubahan warna total (DE) selama penyimpanan dingin ikan mas. Pemilihan bagian yang diuji dipilih secara otomatis menggunakan program komputer dengan perangkat lunak yang digunakan adalah MATLAB. Nilai  $L^*$ ,  $b^*$ , dan DE pada mata ikan mas meningkat seiring lama penyimpanan, sedangkan nilai  $c^*$  mengalami penurunan. Nilai parameter mata ikan tidak menunjukkan kecenderungan yang jelas terhadap lama penyimpanan. Nilai  $L^*$ ,  $b^*$ , dan DE insang ikan meningkat seiring lama penyimpanan, tetapi nilai  $a$  dan  $c$  mengalami penurunan. Indikator perubahan



warna insang lebih tepat digunakan daripada indikator mata untuk mengevaluasi kesegaran ikan mas, sehingga metode ini dapat digunakan karena tidak merusak bahan, tidak memakan waktu yang lama, ramah lingkungan, murah, dan mudah dalam menilai kesegaran ikan secara cepat dan tepat (Dowlati et al., 2013). Barbin et al. (2016) menambahkan analisis citra digital dapat digunakan sebagai alat alternatif untuk penilaian kualitas ayam. Hal ini dapat dilihat dari nilai  $L^*$  yaitu  $R^2$  sebesar 0,99,  $a^*$  didapatkan  $R^2$  sebesar 0,74, dan  $b^*$  didapatkan  $R^2$  sebesar 0,88. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa metode machine vision berdasarkan perangkat RGB dapat menjadi alat yang berguna sebagai penilaian kualitas yang cepat untuk daging ayam pada pabrik pengolahan skala besar.

Metode ultrasonik merupakan metode analisis yang inovatif untuk mengidentifikasi dan menyelidiki kandungan yang terdapat didalam bahan hasil pertanian misalnya daging ayam yang dipisahkan secara mekanis. Kecepatan gelombang ultrasonik yang digunakan sebesar 5MHz. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan ultrasonik berkisar antara 1.553,4 sampai 1.589,9 m/s. Berdasarkan nilai kecepatan ultrasonik yang didapatkan, maka terdapat korelasi yang signifikan dengan kandungan protein, lemak, natrium, dan kepadatan daging ayam (Wieja et al., 2021). Jiang et al. (2021) menambahkan penggunaan ultrasonik untuk meningkatkan sifat fungsional dan pencernaan invitro kompleks aktomiosin selama penyimpanan daging babi yang diberikan efek gelombang ultrasonik sebesar 400 W, 20 kHz, dan 45,52 W/L dengan lama penyimpanan 0 hari, 3 hari, 7 hari, dan 10 hari. Hasil penelitian menunjukkan seiring bertambahnya waktu penyimpanan, nilai kekeruhan, hidrofobik permukaan, sulfhidril aktif dan total sulfhidril kompleks aktomiosin mengalami peningkatan, sedangkan nilai kelarutan protein mengalami penurunan. Penggunaan gelombang ultrasonik dapat meningkatkan hidrofobisitas permukaan, kelarutan protein dan kandungan sulfhidril aktif tetapi menurunkan nilai kekeruhan dan kandungan sulfhidril total dibandingkan dengan kontrol. Perawatan ultrasonik menyebabkan penurunan kandungan  $\alpha$ -helix pada hari ke-0 dan intensitas fluoresensi residu triptofan dan tirosin.

Bao et al. (2022) melakukan penelitian tentang efek pra-perawatan ultrasound dengan daya 0, 200, 300, dan 400 W (frekuensi ultrasonik 20 kHz) pada kualitas, nutrisi dan senyawa volatil dari daging yak yang diawetkan kering. Hasil perlakuan ultrasonik kadar air dan kekerasan daging yak lebih rendah dibandingkan dengan kontrol. Perlakuan ultrasonik juga meningkatkan nilai  $b^*$ , dan menurunkan nilai  $L^*$ ,  $a^*$ , pH, kekenyalan, suhu leleh, dan entalpi. Perlakuan ultrasonik juga meningkatkan nilai FAA esensial (EFAA), total FAA, dan kandungan asam lemak jenuh (SFA), namun mengurangi penilaian warna, bau, dan rasa daging tetapi meningkatkan kelembutan dan penerimaan secara keseluruhan. Penggunaan daya ultrasonik 300 W merupakan perlakuan yang tepat dalam proses pengolahan serta dapat meningkatkan kualitas daging yak yang diawetkan kering. Hu et al. (2014) menambahkan metodologi respon permukaan dalam menganalisis keempukan daging cumi jumbo (*Dosidicus gigas*) dengan perlakuan ultrasonik yang optimal terdapat daya 186,9 W, frekuensi 25,6 kHz, waktu yang digunakan selama 30,8 menit, nilai prediksi fleksibilitas 2,40 mm, dan keteguhan dengan nilai 435,1 g. Degradasi protein dan struktur serat otot yang rusak diidentifikasi menggunakan uji histologis dan SDS-PAGE, yang menunjukkan efek pelunakan yang maksimal.

### 2.3. Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan pada Produk Daging

Identifikasi antara parameter mutu dan kelompok mutu ikan patin asap biasanya sangat kompleks, perlu teknik yang dapat menggambarkan hubungan tersebut secara rinci dan baik seperti yang dilakukan oleh otak manusia menggunakan jaringan syaraf tiruan (JST). Jaringan syaraf tiruan merupakan salah satu struktur komputasi yang dikembangkan dari proses sistem jaringan syaraf di dalam otak manusia. Penelitian terkait jaringan syaraf tiruan telah dilakukan oleh Pirsahab et al. (2020) melalui pembentukan polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) pada produk daging panggang dengan menganalisis dan pemodelan dengan jaringan syaraf tiruan, penggunaan data kolorimetri dan jaringan saraf tiruan untuk penentuan kesegaran ikan (Rezende-de-Souza et al. (2022)), dan kategorisasi kesegaran ikan dari fitur warna mata dan insang menggunakan jaringan saraf tiruan multi-kelas dan mesin pendukung vektor (Lalabadi et al. (2022)). Liu et al. (2023) menyatakan metode jaringan konvolusional menggunakan model Mtx-Net berdasarkan analisis spektroskopi atau pencitraan hiperspektral dapat mencapai akurasi 99,35% dan 98,20% pada otentikasi irisan daging domba dan daging sapi. Park et al. (2023) melaporkan kinerja prediktif terbaik menggunakan model jaringan saraf tiruan dengan pra-pemrosesan Min-Max

yang diterapkan pada data daging sapi tanpa reduksi dimensi ( $R^2 = 0.9893$ ,  $MAE = 0.0075$ ,  $RMSE = 0,0123$ ), dan dari model yang menerapkan reduksi dimensi, performa tertinggi terdapat pada model ANN dengan pra-pemrosesan SNV ( $R^2 = 0,9831$ ,  $MAE = 0,0094$ ,  $RMSE = 0,0153$ ). Raj dan Dash (2022) menambahkan katagori daging sapi dengan kriteria daging segar, kurang segar, atau busuk memiliki akurasi presisi prediksi keseluruhan sebesar 98,5%.

Jaringan syaraf tiruan dapat dikembangkan dalam penentuan mutu yang paling optimum berdasarkan pengolahan citra pada produk pertanian. Pirsahab et al. (2020) menyatakan bahwa jaringan syaraf tiruan dapat dioptimalkan menggunakan evolusi diferensial untuk memodelkan hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH) produk daging olahan yang dipanggang. Total nilai PAH ditentukan sebagai fungsi dari sumber daging (hewani), jenis potongan, keberadaan suhu kulit, dan waktu pemanggangan. Hasil terbaik yang diperoleh menunjukkan bahwa teknik yang diusulkan dapat secara akurat memperkirakan kandungan total PAH dalam produk daging olahan. Jaringan syaraf tiruan merupakan metode yang dikembangkan karena merupakan metode analisis yang alternatif, cepat, mudah dilakukan dan ramah lingkungan untuk semua produk pertanian. Rezende-de-Souza et al. (2022) menggunakan data kolorimetri CIELab, RGB, volatile basic nitrogen (TVB-N) dan jaringan saraf tiruan untuk penentuan kesegaran ikan. Permodelan data kolorimetri dengan model JST merupakan metode yang cepat dan merupakan metode alternatif yang berkelanjutan karena ramah lingkungan dan murah secara ekonomi. Permodelan data kolorimetri dengan model JST dapat diterapkan pada industri makanan 4.0 karena mampu mendorong penerapan alat yang ramah lingkungan dan harga yang murah. Lalabadi et al. (2022) menambahkan kategorisasi kesegaran ikan dari fitur warna mata dan insang menggunakan jaringan saraf tiruan selama 10 hari penyimpanan dan komponen warna diekstraksi dalam warna RGB, HSV, dan  $L^*a^*b^*$ . Analisis komponen warna RGB pada mata dan insang mengalami perubahan yang signifikan ke arah cerah selama penyimpanan dingin. Akurasi model JST mengungguli SVM untuk fitur yang diekstraksi dari mata dan insang ikan. Fitur insang menggambarkan variasi penyimpanan yang lebih efisien daripada mata yang diekstraksi. Sistem kolorimetri yang diterapkan bersama dengan model JST yang dikembangkan dapat digunakan sebagai pendekatan non destruktif dalam mengevaluasi kesegaran ikan selama penyimpanan.

Xing et al. (2022) menyatakan algoritma pelatihan Levenberg-Marquardt dengan jumlah neuron sebanyak 13 lapisan tersembunyi dan laju pembelajaran 0,4 menghasilkan kinerja terbaik dengan nilai korelasi ( $R$ ) validasi 0,9510, pengujian 0,9264, nilai mean square error (MSE) 0,01108. Hasil analisis sensitivitas juga menunjukkan antara korelasi relatif, warna, oksidasi lipid dengan nilai  $b^*$ , POV, dan TBA sehingga memiliki pengaruh terhadap prediksi kandungan benzo [ $\alpha$ ] pyrene (BaP) pada sosip asap. Berdasarkan hasil tersebut, disimpulkan bahwa jaringan syaraf tiruan propagasi balik (BP-ANN) memiliki potensi yang besar dalam memprediksi kandungan BaP sosip asap berdasarkan beberapa parameter kualitas. Chen et al. (2018) menyatakan jaringan syaraf tiruan propagasi balik (BP-ANN) dengan algoritma Levenberg-Marquardt paling baik digunakan untuk membuat peta nonlinear antara parameter input dan output. Struktur jaringan syaraf tiruan yang paling optimal adalah 3-7-1 dan tingkat kepercayaan adalah 0,6. Model BP-ANN menunjukkan bahwa nilai secara eksperimental 0,94, validasi 0,96, pengujian 0,95, dan kumpulan data 0,95. Performa validasi adalah 0,013 yang berarti jaringan syaraf tiruan propagasi balik dapat mendeteksi kandungan BaP produk daging asap secara prediktif. Noghabi et al. (2014) menyatakan prediksi yang dihasilkan oleh model sudah sesuai dengan data eksperimen yaitu bilangan peroksida (PV) dengan nilai  $r = 0,959$ , bilangan karbonil (CV) dengan nilai  $r = 0,969$ , dan total senyawa polar (TPC) dengan nilai  $r = 0,988$ . Nilai yang dihasilkan didasarkan pada indikator input ke jaringan yang terdiri dari parameter waktu, suhu, dan konsentrasi antioksidan, sedangkan outputnya adalah parameter oksidasi. Parameter waktu dan suhu merupakan masukan yang paling sensitif dari JST, dan merupakan parameter terbaik untuk menentukan PV dan CV. Parameter waktu dan suhu inilah yang terpilih sebagai masukan paling sensitif dari JST untuk memprediksi kandungan TPC.

#### 2.4. Aplikasi Teknologi *Near Infra Red (NIR)* pada Produk Daging

Untuk meningkatkan jaminan kandungan kimia yang terdapat dalam produk daging maka perlu adanya standardisasi mutu sehingga dapat memenuhi persyaratan mutu oleh konsumen. Oleh karena itu, perlu upaya yang dilakukan untuk mengidentifikasi kandungan mutu terutama komponen kimia pada

produk daging baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam pengukuran kandungan kimia produk daging adalah dengan menggunakan spektroskopi near infrared (NIR). Kajian tentang NIR oleh beberapa peneliti diantaranya He et al. (2013) terkait teknik spektroskopi dan pencitraan non destruktif untuk mengevaluasi kualitas dan penilaian ikan dan produk ikan, Liu et al. (2013) spektroskopi NIR dan teknik pencitraan untuk evaluasi kualitas ikan, Elmasry et al. (2012) evaluasi kualitas daging dengan teknik pencitraan hiperspektral, dan Sinanoglou et al. (2018) penilaian kualitas daging babi dan kalkun menggunakan spektroskopi FT-IP, kolorimeter, dan analisis citra. Mabood et al. (2020) menggunakan spektrofotometer FT-NIR pada modus refleksi dengan spektrum yang digunakan dengan panjang gelombang 10.000 sampai 4.000  $\text{cm}^{-1}$ , resolusi 2  $\text{cm}^{-1}$ , dan total panjang jalur 0,5 mm. Hasil yang didapatkan bahwa analisis komponen utama (PCA) menunjukkan kesamaan dan perbedaan antara jenis sampel daging, partial least-square discriminant analysis (PLS-DA) menunjukkan perbedaan yang baik antara sampel daging murni dan daging babi, dan prediksi kandungan babi yang terdapat pada daging lainnya menggunakan metoda regresi kuadrat terkecil parsial (PLSR), didapatkan nilai  $R^2$  sebesar 0,9774 dan RMSECV sebesar 1,08. Validasi eksternal menggunakan tes set, didapatkan nilai RMSEP sebesar 1,84%.

Barbin et al. (2020) menyatakan spektroskopi near infrared (NIR) dapat digunakan sebagai teknik yang bisa membedakan antara potongan daging kalkun dan produk olahan daging kalkun. Panjang gelombang yang digunakan antara 400-2500 nm. Metode analisis komponen utama (PCA) mengeksplorasi informasi spektrum, dan klasifikasi sampel menggunakan metode analisis diskriminan linear (LDA). Metode PCA menunjukkan bahwa data set NIR dapat membedakan komposisi kimia dan kualitas pada spektrum untuk masing-masing potongan daging kalkun dan produk olahan daging kalkun. Puncak serapan lokal spektrum daging kalkun adalah 446, 560, 980, 1210, 1450, 1950 nm dengan kemiringan mulai dari 2240 nm. Untuk spektrum dengan panjang gelombang 446, 516, 560, 980, 1380, 1450, 1950, dan 2220 nm digunakan untuk pengujian yang dapat membedakan sampel. Boschetti et al. (2013) menyatakan bahwa penggunaan spektroskopi NIR efektif untuk menduga kandungan kimia pada karkas babi dan daging olahan dengan penggunaan panjang gelombang 1100-2500 nm dengan data reflaktansi pada interval 2 nm. Regresi PLS menunjukkan kandungan proksimat daging olahan memiliki nilai  $R^2$  0,60 dan RPD >2,0, aktivitas kandungan air dengan nilai  $R^2$  0,97 dan RPD = 9,1, dan kandungan natrium klorida memiliki nilai  $R^2$  0,72 dan RPD = 2,7. Nilai yang didapatkan berhubungan dengan umur simpan produk dan kualitas sensori. Penggunaan analisis korelasi kanonik dan spektrum NIR dapat dikembangkan dalam mendeteksi struktur kimia dari karkas babi dan produk akhirnya. Selain itu, panjang gelombang yang digunakan memiliki korelasi dengan parameter kimia seperti asam lemak, kelembaban, bahan kering, dan abu.

Beberapa teknis analisis terkini yang dapat dilakukan untuk mengidentifikasi daging telah dilakukan diantaranya teknik analisis menggunakan (1) spektroskopi oleh Gao et al. (2018) tentang analisis koefisien berbagai bahan pakan yang berasal dari hewan, Kumar dan Karne (2017) tentang analisis spektral untuk mendeteksi spesies dalam produk daging; (2) NIR spektroskopi dilakukan oleh Rady dan Adedeji (2018) tentang penilaian daging olahan yang berbeda untuk pemalsuan, Mendez et al. (2019) tentang otentikasi pada makanan; dan (3) FT-IR spektroskopi dilakukan oleh Karimi et al. (2016) tentang deteksi dan kuantifikasi pemalsuan pewarna makanan pada sampel saffron, Yang et al. (2018) tentang identifikasi daging babi dalam daging sapi dan daging kambing, dan Rohman (2019) tentang ketertelusuran dan otentikasi daging dan produk daging.

Selain pengolahan citra digital, penggunaan gelombang ultrasonik, dan jaringan syaraf tiruan, cara lain yang dikembangkan untuk mengevaluasi dan mengidentifikasi kandungan secara non destruktif yang terdapat dalam produk hasil pertanian adalah menggunakan metode spektroskopi non invasif (VIS) atau spektroskopi infra merah (NIR). VIS/NIR telah banyak diterapkan untuk menentukan karakteristik intrinsik sampel ikan seperti kadar air, protein, lemak, dan garam. Sebagai teknik cepat dan inovatif, spektroskopi VIS/NIR, visi komputer, dan pencitraan hiperspektral dapat digunakan untuk analisis tekstur, fisik, dan penentuan atribut kimia seperti pemeriksaan kandungan mikroba pada ikan dan produk ikan. Penggunaan metode spektroskopi cocok digunakan untuk pemeriksaan kualitas sampel homogen, visi komputer digunakan untuk estimasi penampilan luar tanpa menyediakan informasi spektral, dan pencitraan hiperspektral merupakan gabungan teknik spektroskopi dan pencitraan yang memberikan informasi spectral dan distribusi sampel yang diuji, mengarah pada analisis terperinci untuk kualitas

ikan dan produk ikan pada tingkat piksel. Sebagai inspeksi dan analisis optik, metode spektroskopi, visi komputer, dan pencitraan hiperspektral dapat digunakan untuk pemantauan ikan dan kontrol kualitas dan keamanan produk ikan (He et al., 2013). Liu et al. (2013) menambahkan teknik spektroskopi dan pencitraan infra merah (NIR) merupakan salah satu teknologi yang terbukti dapat memberikan informasi yang berguna dalam mengestimasi atribut kualitas pada bahan hasil pertanian, seperti ikan dan produk perikanan lainnya. Hal ini dikarenakan, teknik spektroskopi dan NIR memiliki keunggulan diantaranya memiliki kecepatan yang cepat, non invasif, kemudahan dalam penggunaannya, dan penggunaan sampel/bahan yang minimal. Teknik spektroskopi dan NIR dapat mengevaluasi komposisi kimia dari ikan dan produk perikanan seperti kandungan kimia yang terdiri lemak, protein, dan kelembaban, mikrobiologis yang terdiri dari kesegaran, pembusukan, dan nematode, dan evaluasi sensori yang terdiri dari rasa, tekstur, dan warna.

Elmasry et al. (2012) menjelaskan penggabungan teknik pencitraan konvensional dan spektroskopi dapat dimanfaatkan lebih lanjut menjadi teknologi pencitraan hiperspektral, yang pada dasarnya menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak terintegrasi sehingga menghasilkan informasi spasial dan spektral dari setiap piksel. Pencitraan hiperspektral dianggap metode dengan alat analisis yang cerdas dan menjanjikan sehingga dapat diterapkan dalam industri. Pencitraan hiperspektral dibuat dalam satu sistem untuk mengidentifikasi langsung dari berbagai komponen dan distribusi spasial dalam pengujian suatu produk, misalnya daging. Pencitraan hiperspektral terbukti dapat memberikan informasi yang cepat tentang struktur kimia dan sifat fisik dari semua jenis daging. Aplikasi teknologi pencitraan hiperspektral dalam mengevaluasi kualitas bermacam jenis daging dapat dilihat pada Tabel 1. Sistem evaluasi kualitas berdasarkan teknologi pencitraan hiperspektral untuk menilai parameter kualitas daging, dapat membawa manfaat ekonomis bagi industri daging sehingga dapat meningkatkan kepercayaan konsumen terhadap kualitas produk daging. Keuntungan utama dari teknik ini adalah metode penilaian bebas bahan kimia, mengurangi waktu untuk analisis, dan menghilangkan metode tradisional yang mahal. Penerapan luas dari sistem otomatis ini tampaknya menawarkan sejumlah keuntungan potensial, termasuk pengurangan biaya tenaga kerja, penghapusan kesalahan manusia selama penilaian subjektif, dan pembuatan data produk dalam bentuk visual secara real time untuk dokumentasi, keterlacakan, dan pelabelan. Sinanoglou et al. (2018) menambahkan metode fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), kolorimeter, dan analisis citra dapat diimplementasikan untuk mengkararakteristik dan mengklasifikasikan kualitas daging babi dan kalkun mulai dari pemrosesan sampai umur simpan selama penyimpanan dingin. Analisis FTIR menghasilkan adanya pita serapan protein, trigliserida, asam lemak, dan karbohidrat dengan nilai intensitas yang berbeda sesuai dengan proses pengolahannya. Penyimpanan dingin memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan pada parameter warna, degradasi parsial trigliserida, dan protein. Selain itu, analisis gambar menunjukkan bahwa penyimpanan dingin menyebabkan degradasi yang signifikan dari gambar daging babi dan kalkun dengan linearitas lokal, kontinum struktural, dan tesktur. Perkembangan penelitian berbasis pengolahan citra dan NIR pada hasil perikanan dan peternakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Aplikasi teknologi pencitraan hiperspektral pada berbagai jenis daging

No	Jenis Daging	Panjang gelombang (nm)	Modus pencitraan	Aplikasi	Referensi
1	Ayam	400-1.024	Reflektansi	Deteksi kontaminan pada karkas unggas	Nakariyakul dan Casasent (2007a)
		425-711	Fluoresensi	Deteksi tumor kulit	Kong (2003); Kong <i>et al.</i> (2004)
2	Babi	430-1.000	Reflektansi	Klasifikasi dan estimasi marmer	Qiao <i>et al.</i> (2007)
		430-980	Reflektansi	Klasifikasi dan penentuan warna, tekstur, dan eksudasi	Qiao <i>et al.</i> (2007a)
3	Ikan	892-2.495	Reflektansi	Penentuan kesegaran ikan	Chau <i>et al.</i> (2009)



		760-1.040	Interaksi	Distribusi kandungan lemak dan garam pada ikan fillet	Segtnan <i>et al.</i> (2009;2009)
4	Sapi	496-1.036	Reflektansi	Prediksi kelembutan	Cluff <i>et al.</i> (2008)
		400-1.100	Reflektansi	Prediksi kelembutan	Peng dan Wu (2008)

Tabel 2. Perkembangan penelitian berbasis pengolahan citra dan spektroskopi NIR pada hasil perikanan dan peternakan

No	Jenis daging	Metode	Hasil	Referensi
1	Ikan salmon	Irisan ikan salmon difoto menggunakan kamera digital merek Basler A102fc <sup>®</sup> , output dari kamera adalah warna RGB gambar yang dihasilkan. Model analisis citra yang dikembangkan di Matlab versi 7.10.0499(R2010a), 32 bit	Nilai rata-rata (masing-masing standar error = 0,01) berdasarkan ukuran bentuk irisan ikan patin dilihat dari: Kekompakkan sebesar 0,49 Kebulatan sebesar 0,63 Sifat busung sebesar 0,88 Eksentrisitas sebesar 0,79	Merkin <i>et al.</i> (2013)
2	Ikan mas	Ikan mas difilet kemudian dibekukan selama 24 jam pada suhu -20°C. Nilai total volatil basa nitrogen (TVB-N) diuji menggunakan metode destilasi aliran. Pengambilan gambar menggunakan kamera dengan kecepatan 1,5 mm/s. Panjang gelombang hiperspektral yang digunakan yaitu 400-1.000 nm. Model yang digunakan adalah regresi kuadrat terkecil parsial (PLSR) dan mesin vektor dukungan kuadrat terkecil (LS-SVM)	Model PLSR dan LS-SVM untuk memprediksi nilai TBV-N dengan koefisien determinasi masing-masing sebesar 0,905 dan 0,916, nilai RMSEP 2,749% dan 2,346%. Sembilan panjang gelombang optimal yaitu 420, 466, 523, 552, 595, 615, 717, 850, dan 955 nm). Model LS-SVM merupakan model terbaik untuk menentukan sebaran kandungan TVB-N pada filet ikan mas	Cheng <i>et al.</i> (2014)
3	Ikan mas	Ikan mas difilet kemudian dibekukan selama 20 hari pada suhu -20°C dan -40°C. Kemudian dicairkan pada suhu 4°C selama 12 jam. Sistem HIS digunakan untuk memperoleh hiperspektral gambar filet ikan mas dalam	Klasifikasi pemodelan analogi kelas independen lunak (SIMCA), LS-SVM, dan jaringan saraf probabilistik (PNN) menunjukkan tingkat klasifikasi yang benar (CRR) sebesar 94,29%. Model dengan pengklasifikasian LS-SVM digabungkan dengan metode pra-pemrosesan memberikan	Cheng <i>et al.</i> (2015)

		model reflaktansi. Panjang gelombang 308-1.105 nm dengan spektrum 1,58 nm dan kecepatan 1,2 mm/s.	akurasi prediksi dengan nilai CCR sebesar 91,43%.	
4	Daging babi dan kalkun	Daging babi dan kalkun didinginkan pada suhu 4°C sebelum diris. Kemudian dibagi menjadi tiga kelompok yaitu kualitas tinggi, sedang, dan rendah. Kamera citra dihubungkan dengan perangkat lunak MATLAB v7.0 (MathWorks, USA) untuk pra pemrosesan gambar, segmentasi, kalibrasi warna, transformasi warna, dan fitur ekstraksi.	Performa kualitas tinggi dari daging babi dan kalkun masing-masingnya sebesar >99,5% dan >90,5%.	Iqbal <i>et al.</i> , 2010
5	Daging	Daging yang dilakukan pengujian menggunakan spektrometri menggunakan mikroskop cahaya, kamera CCD instrumen MS dengan pengaturan eksperimental	Pencitraan dengan spektrometri MALDI TOF menghasilkan nilai koefisien variasi bernilai relatif rendah yaitu 23% pada peptida daging yang diawetkan kering	Maslov <i>et al.</i> (2019)
6	Daging	Pencitraan hiperspektral	Pencitraan hiperspektral menjadi aplikasi dalam menentukan kandungan kimia pada daging secara non destruktif	Elmasry <i>et al.</i> (2012)

Li et al. (2022) melaporkan kombinasi spektroskopi NNIR dan pengelompokan fuzzy K-harmonic mean (KHM) mendapatkan akurasi model tertinggi yaitu 93,18% untuk mengevaluasi daging babi yang disimpan pada jangka waktu yang berbeda. Iskandar et al. (2023) melaporkan teknologi NIR dapat menunjukkan kandungan protein sampel daging sapi beku dengan koefisien korelasi sebesar 0,90. Cozzolino et al. (2023) melaporkan analisis daging komersial menggunakan NIR yang dikombinasikan analisis diskriminan linier (LDA) didapatkan nilai akurasi sebesar 87,8%, sehingga dapat membedakan sampel daging yang berasal dari spesies hewan yang berbeda. Zhang et al. (2022) melaporkan akurasi terbaik penggunaan NIR dengan analisis random forest (RF) untuk menilai kesegaran daging domba didapatkan akurasi pelatihan dan pengujian sebesar 93% dan 91%. Zheng et al. (2023) juga melaporkan deteksi kualitas daging secara non destruktif menggunakan NIR didapatkan panjang gelombang model prediksi MLR sebesar 400-1050 nm, sedangkan model prediksi PLSR didapatkan panjang gelombang 900-1700 nm.

### 3. KESIMPULAN DAN SARAN

#### 3.1. Kesimpulan

Metode teknik pengolahan citra, jaringan saraf tiruan, dan teknologi NIR merupakan metode yang dapat digunakan untuk mengevaluasi mutu internal produk daging secara cepat dan akurat tanpa merusak bahan. Metode pengolahan citra dapat digunakan untuk mendeteksi kualitas daging tanpa merusak secara fisik dengan akurasi tinggi. Jaringan saraf tiruan adalah alat analisis data citra untuk

mengidentifikasi kerusakan atau kontaminasi pada daging sehingga memungkinkan untuk tindakan perbaikan yang lebih cepat dan efektif. Teknologi NIR dapat digunakan untuk mendeteksi komponen kimia tanpa merusak daging sehingga memiliki implikasi dalam mengoptimalkan proses pemutuan produk daging. Ketiga metode ini sangat berpotensi diaplikasikan pada industri makanan, terutama dalam menghasilkan produk daging yang berkualitas tinggi dan merupakan metode yang efektif dalam mendeteksi kualitas produk daging secara non destruktif.

### 3.2. Saran

Teknik pengolahan citra, jaringan saraf tiruan, dan teknologi NIR dapat digunakan dalam optimasi pemutuan produk daging dalam mendeteksi mutu internal produk daging secara non destruktif. Penggunaan metode ini dapat membantu mendeteksi masalah mutu internal secara lebih cepat dan tepat pada produk daging secara non destruktif.

### DAFTAR PUSTAKA

- Adeyeye SAO, Ashaolu TJ. 2022. A Study on Polycyclic Aromatic Hydrocarbon and Heavy Metal Concentrations of Commercial Grilled Meat (Suya) and Smoked Catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) Fish from South-West, Nigeria. *Polycycl Aromat Compd.* 42(6):3281–3290. doi:10.1080/10406638.2020.1858883.
- Balaban, M.Ö., dan Z. Alçiçek. 2016. Use of polarized light in image analysis: Application to the analysis of fish eye color during storage. *LWT-Food Science and Technology.* 365-371. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.046>.
- Bao, G. J. Niu, S. Li, L. Zhang, and Y. Luo. 2022. Effects of ultrasound pretreatment on the quality, nutrients and volatile compounds of dry-cured yak meat. *Ultrasonics Sonochemistry.* 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105864>.
- Barbin, D.G., S.M. Mastelini, S. Barbon Jr, G.F.C. Campos, A.P.A.C. Barbon, and M. Shimokomaki. 2016. Digital image analyses as an alternative tool for chicken quality assessment. *Biosystems Engineering.* 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.01.015>.
- Barbin, D. F., A.T. Badar, D.C.B. Honorato, E.Y. Ida, and M. Shimokomaki. 2019. Identification of turkey meat and processed products using near infrared spectroscopy. *Food Control,* 106816. <https://doi:10.1016/j.foodcont.2019.106816>.
- Boschetti, L., M. Ottavian, P. Facco, M. Barolo, L. Serva, S. Balzan, and E. Novelli. 2013. A correlative study on data from pork carcass and processed meat (Bauernspeck) for automatic estimation of chemical parameters by means of near-infrared spectroscopy. *Meat Science,* 95(3), 621–628. <https://doi:10.1016/j.meatsci.2013.06.001>.
- Caballero D, Pérez-Palacios T, Caro A, Antequera T. 2023. Use of magnetic resonance imaging to analyse meat and meat products non-destructively. *Food Rev Int.* 39(1):424–440. doi:10.1080/87559129.2021.1912085.
- Chau, A., M. Whitworth, C. Leadley, and S. Millar. 2009. Innovative sensors to rapidly and non-destructively determine fish freshness. *Seafish Industrial Authority, Report No. CMS/REP/110284/1.*
- Chen, Y., K. Cai, Z. Tu, W. Nie, T. Ji, B. Hu, C. Chen, and S. Jiang. 2018. Prediction of benzo[a]pyrene content of smoked sausage using back-propagation artificial neural network. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* <https://doi:10.1002/jsfa.8801>.
- Cheng, J.-H., D.-W. Sun, X.-A. Zeng, and H.-B. Pu. 2014. Non-destructive and rapid determination of TVB-N content for freshness evaluation of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) by hyperspectral imaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies,* 21, 179–187. <http://doi:10.1016/j.ifset.2013.10.013>.
- Cheng, J.-H., D.-W. Sun, H.-B. Pu, X. Chen, Y. Liu, H. Zhang, and J.-L. Li. 2015. Integration of classifiers analysis and hyperspectral imaging for rapid discrimination of fresh from cold-stored and frozen-thawed fish fillets. *Journal of Food Engineering,* 161, 33–39. <http://doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.03.011>.
- Cluff, K., G.K. Naganathan, J. Subbiah, R. Lu, C.R. Calkins, and A. Samal. 2008. Optical scattering in beef steak to predict tenderness using hyperspectral imaging in the VIS-NIR region. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety.* 2: 189–196.
- Cozzolino D, Bureš D, Hoffman LC. 2023. Evaluating the use of a similarity index (SI) combined with near infrared (NIR) spectroscopy as method in meat species authenticity. *Foods.* 12(1):1–8. doi:10.3390/foods12010182.

- Dutta, M.K., A. Issac, N. Minhas, and B. Sarkar. 2016. Image processing based method to assess fish quality and freshness. *Journal of Food Engineering*. 50-58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.12.018>.
- Doutoum AA, Goni YA, Doungous DM, Ali MS. 2022. Knowledge of Hygienic Quality of Meat Products and Their Consumption by the Population of Sarh ( CHAD ). *J Food Secur*. 10(2):70–80. doi:10.12691/jfs-10-2-4.
- Dowlati, M., S.S. Mohtasebi, M. Omid, S.H. Razavi, M. Jamzad, and M. de la Guardia. 2013. Freshness assessment of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) by machine vision based on gill and eye color changes. *Journal of Food Engineering*. 277-287. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.023>.
- Elmasry, G., D.F. Barbin, D-W. Sun, and P. Allen. 2012. Meat Quality Evaluation by Hyperspectral Imaging Technique: An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 689-711. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.507908>.
- Fan KJ, Su WH. 2022. Applications of Fluorescence Spectroscopy, RGB-and MultiSpectral Imaging for Quality Determinations of White Meat: A Review. *Biosensors*. 12:1–21. doi:10.3390/bios12020076.
- Gao, F., Xu, L., Zhang, Y., Yang, Z., Han, L., & Liu, X. (2018). Analytical Raman spectroscopic study for discriminant analysis of different animal-derived feedstuff: Understanding the high correlation between Raman spectroscopy and lipid characteristics. *Food Chemistry*, 240, 989–996. <https://doi:10.1016/j.foodchem.2017.07.143>.
- He, H-J., D. Wu, and D-W. Sun. 2013. Non-destructive Spectroscopic and Imaging Techniques for Quality Evaluation and Assessment of Fish and Fish Products. *Food Science and Nutrition*. 1-80. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2012.746638>.
- Hu, Y., H. Yu, K. Dong, S. Yang, X. Ye, and S. Chen. 2014. Analysis of the tenderisation of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) meat by ultrasonic treatment using response surface methodology. *Food Chemistry*. 219-225. <http://doi:10.1016/j.foodchem.2014.01.085>.
- Iqbal, A., N. A. Valous, F. Mendoza, D.-W. Sun, and P. Allen. 2010. Classification of pre-sliced pork and Turkey ham qualities based on image colour and textural features and their relationships with consumer responses. *Meat Science*, 84(3), 455–465. <http://doi:10.1016/j.meatsci.2009.09.016>.
- Iskandar CD, Zainuddin Z, Arip Munawar A, Aulia Barus R, Pembibitan Ternak Unggul dan Hijauan Pakan Ternak B, Besar A. 2023. Robust prediction of meat quality attributes using near infrared spectroscopy. *J Kedokt Hewan - Indones J Vet Sci*. 17(1):42–47. doi:<https://doi.org/10.21157/j.ked.hewan.v17i1.30204>.
- Jiang, S., D. Zhao, Y. Nian, J. Wu, M. Zhang, Q. Li, and C. Li. 2021. Ultrasonic treatment increased functional properties and in vitro digestion of actomyosin complex during meat storage. *Food Chemistr*. 1-11. <http://doi:10.1016/j.foodchem.2021.129398>.
- Karimi, S., J. Fezy, F. Mehrjo, and M. Farrokhnia. 2016. Detection and quantification of food colorant adulteration in saffron sample using chemometric analysis of FT-IR spectra. *RSC Advances*, 6(27), 23085–23093. <https://doi:10.1039/c5ra25983e>.
- Kong, S.G. 2003. Inspection of poultry skin tumor using hyperspectral fluorescence imaging. *Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering*. 5132: 455–463.
- Kong, S.G., Y.-R. Chen, I. Kim, and M.S. Kim. 2004. Analysis of hyperspectral fluorescence images for poultry skin tumor inspection. *Applied Optics*. 43(4): 824–833.
- Kumar, Y., & Chandrakant Karne, S. (2017). Spectral analysis: A rapid tool for species detection in meat products. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 59–67. <https://doi:10.1016/j.tifs.2017.02.008>.
- Kumar A, Kumar S, Sharma BD, Mendiratta SK, Verma OP, Patel AK. 2012. Functional meat and meat products: An Overview. *J Adv Vet Res*. 2:314–324.
- Lalabadi, H.M., M. Sadeghi, and S.A Mireei. 2020. Fish freshness categorization from eyes and gills color features using multi-class artificial neural network and support vector machines. *Aquacultural Engineering*. 1-9 <http://doi:10.1016/j.aquaeng.2020.10207>.
- Li Q, Wu X, Zheng J, Wu B, Jian H, Sun C, Tang Y. 2022. Determination of pork meat storage time using near-infrared spectroscopy combined with fuzzy clustering algorithms. *Foods*. 11(14):1–12. doi:10.3390/foods11142101.
- Liu D, Ma Y, Yu S, Zhang C. 2023. Image based beef and lamb slice authentication using convolutional neural networks. *Meat Sci*. 195:1–9. doi:10.1016/j.meatsci.2022.108997.
- Liu, D., X-A. Zeng, and D-W Sun. 2013. NIR Spectroscopy and Imaging Techniques for Evaluation of Fish Quality-A Review. *Applied Spectroscopy Reviews*. 609-628.



- <http://dx.doi.org/10.1080/05704928.2013.775579>.
- Lu N, Ma J, Sun DW. 2022. Enhancing physical and chemical quality attributes of frozen meat and meat products: Mechanisms, techniques and applications. *Trends Food Sci Technol*. 124:63–85. doi:10.1016/j.tifs.2022.04.004.
- Luong N-DM, Coroller L, Zagorec M, Moriceau N, Anthoine V, Guillou S, Membré J-M. 2022. A bayesian approach to describe and simulate the pH preservation conditions. *J Food*. 11:1–13. doi:<https://doi.org/10.3390/foods11081114>.
- Mabood, F., R. Boqué, A.Y. Alkindi, A. Al-Harrasi, I.S. Al Amri, S. Boukra, F. Jabeen, J. Hussain, G. Abbas, Z. Naureen, Q. M.I. Haq, H.H. Shah, A. Khan, S.K. Khalaf, and I. Kadim. 2020. Fast detection and quantification of pork meat in other meats by reflectance FT-NIR spectroscopy and multivariate analysis. *Meat Science*, 108084. <http://doi:10.1016/j.meatsci.2020.108084>.
- Mathiassen, J.R., E. Misimi, M. Bondø, E. Veliyulin, and S.O. Østvik. 2011. Trends in application of imaging technologies to inspection of fish and fish products. *Trends in Food Science & Technology*. 257-275. <http://doi:10.1016/j.tifs.2011.03.006>.
- Mendez, J., L. Mendoza, Cruz-Tirado, J. P., R. Quevedo, and R. Siche. 2019. Trends in application of NIR and hyperspectral imaging for food authentication. *Scientia Agropecuaria*, 10(1), 143–161. <https://doi:10.17268/sci.agropecu.2018.01.16>.
- Merkin, G. V., L.H. Stien, K. Pittman, and R. Nortvedt. 2013. Digital image analysis as a tool to quantify gaping and morphology in smoked salmon slices. *Aquacultural Engineering*, 54, 64–71. <http://doi:10.1016/j.aquaeng.2012.11.003>.
- Nakariyakul, S. and D.P. Casasent. 2007b. Fusion algorithm for poultry skin tumor detection using hyperspectral data. *Applied Optics*. 46(3): 357–364.
- Noghabi, M.S., M. Kaviani, and R. Niazmdand. 2014. Modeling of Oxidation Stability of Canola Oil Using Artificial Neural Networks during Deep Fat Frying of Potatoes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1006–1015. <https://doi:10.1111/jfpp.12314>.
- Park S, Yang M, Yim DG, Jo C, Kim G. 2023. VIS/NIR hyperspectral imaging with artificial neural networks to evaluate the content of thiobarbituric acid reactive substances in beef muscle. *J Food Eng*. 350:1–11. doi:10.1016/j.jfoodeng.2023.111500.
- Pirsaheb, M., E.-N. Dragoi, and Y. Vasseghian. 2020. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Formation in Grilled Meat products—Analysis and Modeling with Artificial Neural Networks. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 1–17. <http://doi:10.1080/10406638.2020.1720750>.
- Qiao, J., Ngadi, M.O., Wang, N., Garipey, C., and Prasher, S.O. 2007. Pork quality and marbling level assessment using a hyperspectral imaging system. *Journal of Food Engineering*. 83(1): 10–16.
- Rady, A., & Adedeji, A. (2018). Assessing different processed meats for adulterants using visible-near-infrared spectroscopy. *Meat Science*, 136, 59–67. <https://doi:10.1016/j.meatsci.2017.10.014>.
- Raj GVSDB, Dash KK. 2022. Comprehensive study on applications of artificial neural network in food process modeling. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 62(10):2756–2783. doi:10.1080/10408398.2020.1858398.
- Rezende-de-Souza, J.H., V.F. de Moraes-Neto, G.Z. Cassol, M.C.D.S Camelo, and L.K. Savay-da-Silva. 2022. Use of colorimetric data and artificial neural networks for the determination of freshness in fish. *Food Chemistry Advances*. 1-7. <http://doi:10.1016/j.focha.2022.100129>.
- Rohman, A. 2019. The employment of Fourier transform infrared spectroscopy coupled with chemometrics techniques for traceability and authentication of meat and meat products. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 6(1), 9–17. <https://doi:10.5455/javar.2019.f306>.
- Sanchez PDC, Arogancia HBT, Boyles KM, Pontillo AJB, Ali MM. 2022. Emerging nondestructive techniques for the quality and safety evaluation of pork and beef: Recent advances, challenges, and future perspectives. *Appl Food Res*. 2(2):1–17. doi:10.1016/j.afres.2022.100147.
- Ščetar M, Kurek M, Galić K. 2010. Trends in meat and meat products packaging – a review. *Croat J Food Sci Technol*. 2(1):32–48. <https://hrcak.srce.hr/file/89744>.
- Segtnan, V.H., M. Høy, F. Lundby, B. Narum, and J.P. Wold. 2009. Fat distributional analysis in salmon fillets using non-contact near infrared interactance imaging: A sampling and calibration strategy. *Journal of Near-Infrared Spectroscopy*. 17(5): 247–253.
- Segtnan, V.H., M. Høy, O. Sørheim, A. Kohler, F. Lundby, J.P. Wold, and R. Ofstad. 2009. Noncontact salt and fat distributional analysis in salted and smoked salmon fillets using x-ray computed tomography and NIR interactance imaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57: 1705–1710.
- Šimko P. 2002. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products and smoke

- flavouring food additives. *J Chromatogr B Anal Technol Biomed Life Sci.* 770(1–2):3–18. doi:10.1016/S0378-4347(01)00438-8.
- Sinanoglou, V.J., D. Cavouras, D. Xenogiannopoulos, C. Proestos, and P. Zoumpoulakis. 2018. Quality Assessment of Pork and Turkey Hams Using FT-IR Spectroscopy, Colorimetric, and Image Analysis. *Foods.* 2-16. <http://doi:10.3390/foods7090152>.
- Wieja, K., P. Kielczyński, P. Szymański, M. Szalewski, A. Balcerzak, and S. Ptasznik. 2021. Identification and investigation of mechanically separated meat (MSM) with an innovative ultrasonic method. *Food Chemistry.* 1-9 <http://doi:10.1016/j.foodchem.2020.128907>.
- Weiss J, Gibis M, Schuh V, Salminen H. 2010. Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. *Meat Sci.* 86(1):196–213. doi:10.1016/j.meatsci.2010.05.008.
- Xing, W., X. Liu, C. Xu, M.S. Farid, K. Cai, H. Zhou, C. Chen, and B. Xu. 2022. Application of artificial neural network to predict benzo[a]pyrene based on multiple quality of smoked sausage. *Food Science and Technology.* 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113571>.
- Yang, L., T. Wu, Y. Liu, J. Zou, Y. Huang, V. Babu V., S., and L. Lin. 2018. Rapid Identification of Pork Adulterated in the Beef and Mutton by Infrared Spectroscopy. *Journal of Spectroscopy*, 2018, 1–10. <https://doi:10.1155/2018/2413874>.
- Zhang J, Liu G, Li Y, Guo M, Pu F, Wang H. 2022. Rapid identification of lamb freshness grades using visible and near-infrared spectroscopy (Vis-NIR). *J Food Compos Anal.* 111:1–11. doi:10.1016/j.jfca.2022.104590.
- Zheng X, Chen L, Li X, Zhang D. 2023. Non-destructive detection of meat quality based on multiple spectral dimension reduction methods by near-infrared spectroscopy. *Foods.* 12(2):1–14. doi:10.3390/foods12020300.