

Rancang Bangun Pencitraan Multispektral Cahaya Tampak untuk Deteksi Kesegaran Ikan Gurami (*Osphronemus Goramy*)

Reza Arraffi Birahmatika^{*}) & Aulia M. T. Nasution

Laboratorium Rekayasa Fotonika, Jurusan Teknik Fisika - FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

rabsy.arraffi@gmail.com *)

Abstrak

Pemastian tingkat kesegaran produk perikanan merupakan faktor penting untuk menunjang kelangsungan bisnis perikanan. Metoda pencitra multispektral, yang mula dikembangkan untuk keperluan interpretasi pencitra satelit, akan dicoba untuk diterapkan sebagai suatu teknik alternatif dalam penentuan tingkat kesegaran produk perikanan. Dengan metoda ini, penentuan parameter kualitas ikan dapat dilakukan secara non-kontak dan tidak merusak. Ikan gurami (*osphronemus goramy*) digunakan sebagai benda uji, yang merupakan jenis ikan yang banyak dikonsumsi masyarakat Indonesia. Akuisisi citra multispektral dilakukan dengan melakukan penyinaran bahan uji dengan beberapa rentang pita cahaya kuasi monokromatis keluaran dari monokromator, dan perekaman dilakukan menggunakan kamera DSLR Olympus E-620. Sebelum proses kuantifikasi dilakukan, beberapa faktor koreksi diterapkan pada citra untuk meniadakan efek ketidakhomogenan atas intensitas spektral sumber cahaya, respons spasial dan spektral detektor kamera, serta karakteristik transmisi spektral dari sistem optik yang digunakan. Perlakuan waktu diberikan pada sampel uji, untuk mensimulasikan perubahan tingkat kesegarannya. Pengukuran atas perubahan nilai pH digunakan sebagai pembandingan atas perubahan tingkat kesegaran ikan. Hasil perhitungan atas perubahan nilai reflektansi sampel uji terhadap perubahan tingkat pembusukan dapat diamati dengan baik pada panjang gelombang 550 - 600nm, i.e. dengan rentang sensitivitas (0.0026 - 0.0033) jam^{-1} ($R^2= 0.6693 - 0.7426$).

Kata Kunci: reflektansi multispektral, pemastian kualitas produk perikanan, tingkat kesegaran, ikan gurami

1 Pendahuluan

Ikan merupakan komoditas yang banyak dikonsumsi masyarakat Indonesia. Konsumsi ikan perkapita di Indonesia setiap tahun semakin meningkat [1]. Salah satu jenis ikan yang banyak dikonsumsi adalah ikan gurami. Meningkatnya konsumsi ikan gurami di Indonesia juga dikarenakan keberhasilan dalam budidaya ikan gurami pada tambak-tambak yang dulunya tidak terurus [2].

Dalam perdagangan ikan gurami diperlukan pengetahuan mengenai kualitas ikan tersebut, yang merupakan faktor penting dalam kompetisi perdagangan ikan gurami [3]. Salah satu aspek yang mempengaruhi kualitas ikan adalah tingkat kesegarannya, yang dipengaruhi oleh waktu dari ikan gurami tersebut ditangkap hingga diolah. Semakin lama rentang waktu ini maka akan semakin menurun tingkat kesegarannya. Untuk memastikan kondisi kesegaran dari produk perikanan, maka diperlukan suatu sistem pendeteksian tingkat kesegaran untuk membantu menseleksi agar produk ikan gurami memiliki tingkat kesegaran yang buruk tidak terjual.

Satu teknik yang telah digunakan untuk penentuan tingkat kesegaran ikan adalah organoleptik [4], yang bersifat subjektif dan susah dilakukan karena memerlukan pengamat yang berpengalaman. Teknik penentuan lainnya antara adalah teknik yang

berbasis pada pengukuran kandungan kimia (biasanya adalah kandungan TVB-N dan TMA [5, 6]). Demikian juga beberapa teknik penentuan kesegaran lain yang berbasis pada pengukuran pH, jumlah total bakteri, kapasitas kandungan air dalam produk, dan tekstur daging dari ikan gurami [7, 8]. Teknik-teknik tersebut memerlukan waktu penentuan yang cukup lama dalam menganalisa serta memerlukan operator yang berpengalaman. Selain itu juga telah dikembangkan pula sistem pendeteksian kesegaran ikan menggunakan electronic nose [9]. Sistem ini menggunakan sensor yang mendeteksi perbedaan bau yang dihasilkan oleh ikan gurami segar daging ikan gurami yang busuk.

Telah pula dikembangkan teknik penentuan kesegaran produk perikanan dengan menggunakan metoda pengukuran spektroskopi, yaitu dengan menggunakan fiber optic probe untuk mendeteksi kesegaran ikan [10]. Metode ini bersifat tidak merusak, karena dilakukan hanya dengan menempelkan fiber optic probe pada permukaan sampel, cukup mudah dan cepat. Namun metode ini tidak dapat memberikan data spasial yang cukup detail dari sampel.

Untuk dapat mendapatkan data spasial yang baik beberapa peneliti telah mengembangkan metode pencitraan hyperspektral. Sistem ini merupakan kombinasi sistem pencitraan dan spektroskopi, yang mula dikembangkan pada pencitraan satelit atau penginderaan jauh (remote sensing).

Dengan sistem ini kita dapat mendapatkan data spektrum pantulan pada masing-masing titik pada permukaan objek [11]. Sistem hyperspektral ini sudah banyak digunakan untuk berbagai penggunaan dalam bidang pertanian seperti penentuan kualitas apel [12], kualitas tomat [13], dan bayam [14]. Sistem ini juga telah digunakan untuk melakukan penentuan kualitas beberapa produk daging sapi [15] dan babi [16], dan juga telah digunakan untuk menentukan kesegaran makanan yang berasal dari perairan seperti beberapa jenis udang [11] dan beberapa jenis ikan air asin [17]. Namun sistem tersebut memerlukan waktu pemrosesan yang cukup lama karena harus memproses citra dari ratusan panjang gelombang sekaligus dan biaya yang digunakan untuk menyusun sistem ini cukup mahal.

Dengan mempertimbangkan mahalnya metode pencitraan hyperspektral ini, maka pada penelitian yang dilakukan dicoba untuk merancang sistem pendeteksi kesegaran ikan gurami dengan memanfaatkan teknik pencitraan multispektral. Sistem multispektral ini pada prinsipnya memiliki susunan yang menyerupai dengan metode hyperspektral, namun hanya menggunakan jumlah data citra spektral yang lebih kecil, sehingga proses penentuan dapat dilakukan lebih cepat dan lebih murah dibandingkan sistem hyperspektral. Dalam kertas kerja ini akan dijelaskan beberapa tahapan penelitian yang dilakukan, untuk dapat mengekstraksi parameter kesegaran produk ikan berdasarkan pada penentuan perubahan nilai reflektansi multispektral dari obyek uji. Diharapkan metoda yang dikembangkan ini nantinya dapat digunakan sebagai suatu komponen dalam sistem machine vision, untuk memastikan kualitas kesegaran produk perikanan pada skala industri.

2 Uraian Penelitian

2.1 Kuantifikasi Kesegaran Ikan

Salah satu faktor penting kualitas ikan adalah tingkat kesegaran. Tingkat kesegaran pada ikan dipengaruhi oleh proses penyimpanan dan bakteri yang terkandung pada ikan [18]. Ketika ikan mengalami perubahan tingkat kesegaran atau mengalami pembusukan, ada beberapa perubahan yang terjadi pada ikan seperti: warna daging ikan, bau pada ikan,

warna mata pada ikan, tingkat keasaman, tekstur dari ikan, kandungan air, kandungan kimia pada ikan seperti ammonia, trimethylamine, dimethylamine [19], astaxanthin, dan metmyoglobin [17].

Ada beberapa cara dalam menganalisa tingkat kesegaran dari yaitu dengan teknik analisa kandungan kimia, analisa organoleptik, dan analisa kandungan mikrobiologi. Masing-masing cara tersebut memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing.

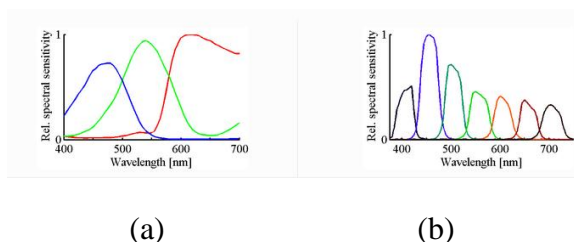
Penentuan kesegaran ikan dengan metode organoleptic atau sensori merupakan cara yang paling sederhana yaitu dengan menganalisa kesegaran ikan dengan menggunakan panca indra manusia [20], yang biasa dianalisa adalah mengenai penampakan tubuh ikan, bau dari ikan, kemudian tekstur kulit dari ikan. Standar penilaian kesegaran ikan khususnya ikan telah ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional dengan SNI 01-2346-2006 [21]. Kelemahan dari teknik ini adalah teknik ini bersifat subjektif meskipun telah ada standar penilaian.

Penentuan kesegaran ikan dengan metode analisa kandungan kimia dilakukan dengan cara menganalisa kandungan kimia pada ikan tersebut. Kandungan kimia yang sering dianalisa adalah kandungan TVB-N (*Total Volatile Base Nitrogen*) pada ikan. TVB-N merupakan kumpulan dari senyawa basa nitrogen yang mudah menguap, dapat berupa trimethylamin, dimethylamin, dan ammoniak [22]. Analisa ini merupakan metode kuantitatif yang cukup mudah namun pengerjaan harus dilakukan di lab.

Pada saat ikan telah mati maka bakteri akan mulai berkembang bertambah banyak. Perkembangan bakteri ini dapat ditentukan dan dapat dijadikan acuan sebagai tingkat kesegaran pada ikan. Cara analisa ini dilakukan dengan mengukur TVC (*Total Viable Count*) pada ikan [19].

2.2 Sistem Pencitraan Multispektral

Pencitraan multispektral merupakan teknik pencitraan yang menghasilkan citra lebih dari satu komponen spectral [23]. Salah satu contoh sistem ini adalah sistem pencitraan pada kamera digital pada umumnya yang memiliki komponen spektral merah, hijau, dan biru.

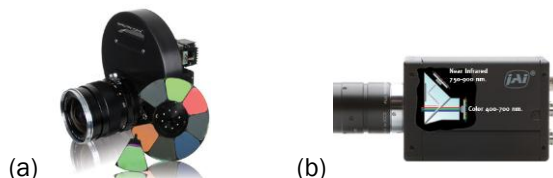


Gambar 1 Respon spektral kamera RGB (a) dan kamera tujuh komponen spektral (b) [24]

Cara kerja sistem ini adalah dengan menggunakan kamera digital yang memiliki sensor dengan respon pita panjang gelombang yang lebar serta meletakkan beberapa bandpass filter pada depan sensor [24]. Filter yang digunakan dapat berupa filter yang dipasangkan pada filter wheel dan filter digunakan secara bergantian seperti Gambar 1(a), dapat pula berupa kamera yang memiliki dua sensor dan filter diletakkan pada masing-masing sensor seperti Gambar 1(b), dapat pula filter digantikan dengan spektrograf atau berupa filter array [25].

Selain komponen sensor kamera dan filter, sistem pencitraan multispektral memerlukan sumber cahaya yang polikromatis dengan lebar spektrum sesuai dengan yang dibutuhkan, seperti misalnya pada pencitraan cahaya tampak dan near-infrared maka dibutuhkan sumber cahaya yang dapat menghasilkan cahaya cahaya tampak dan near-infrared untuk mendapatkan citra multispectral pada sistem.

Sistem pencitraan multispektral ini juga dapat dapat dibangun dengan dua kemungkinan yaitu sistem yang menggunakan sumber cahaya dengan pita panjang gelombang yang lebar dan menggunakan filter optik yang dapat diubah-ubah dan sistem yang menggunakan sumber cahaya yang dapat diubah-ubah panjang gelombangnya.

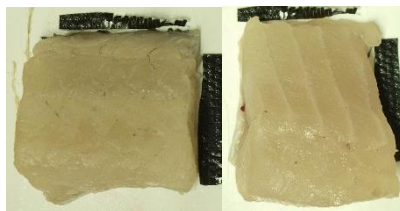


Gambar 2 (a) Menggunakan Wheel Filter [26], (b) menggunakan dua sensor [27]

2.3 Metode

2.3.1 Persiapan Sampel Daging Ikan

Sampel ikan gurami yang digunakan merupakan ikan gurami segar dalam keadaan hidup yang diambil dari pasar swalayan di daerah Surabaya. Ikan yang dibeli adalah ikan yang masih hidup. Ikan dibelah dan daging ikan diiris dengan ukuran 3 cm x 3 cm. Setiap ikan dipotong menjadi tiga sampel.



Gambar 3 Hasil pemotongan ikan

2.3.2 Komponen

Komponen yang digunakan pada sistem ini adalah lampu Halogen 50 watt, LED biru superbright, Monokromator Jasco CT-10 untuk memilah panjang gelombang mana yang digunakan untuk menyinari sampel, lensa planokonveks panjang fokus 3.5 cm, kamera DSLR olympus E-620 untuk mengambil citra multispectral, LCD HP CQ1569x untuk pengujian sensitivitas spasial pada kamera, dan optical power meter kit (OPM) PM120D untuk mengukur daya untuk dapat mendapatkan nilai koreksi.

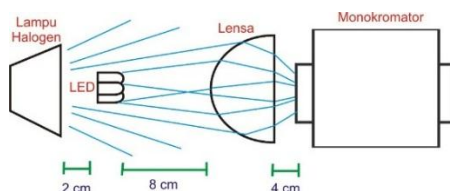
2.3.3 Pengujian Komponen

Pengujian dilakukan agar kita dapat memastikan apakah komponen yang digunakan dapat bekerja dengan baik pada sistem dan pengujian ini ditujukan pula untuk menentukan nilai koreksi yang akan digunakan. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian spectrum cahaya yang mengenai sampel, pengujian berkas cahaya yang mengenai sampel,

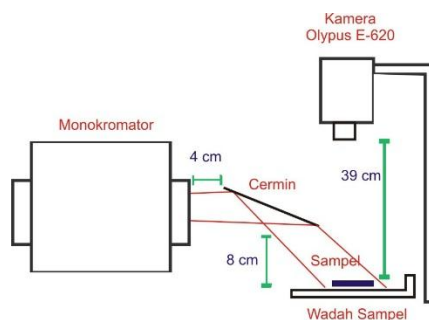
pengujian sensitivitas spasial pada kamera, dan pengujian respon spektrum kamera. Setelah melakukan pengujian maka didapatkan nilai koreksi pada setiap panjang gelombang dan pada setiap posisi pada citra yang diperoleh. Nilai koreksi tersebut akan dikalikan dengan nilai yang diperoleh dari citra asli.

2.3.4 Penyusunan Set-up Pencitra Multispektral

Set-up yang digunakan tersusun dari dua sistem yaitu sistem pencahayaan dan sistem perekaman citra. Sistem pencahayaan menggunakan lampu Halogen dan lampu LED, lensa dan monokromator, dapat dilihat pada Gambar 4. Pada sistem pengambilan citra terdapat kamera, cermin, dan wadah sampel, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4 Skema susunan sumber cahaya dan lensa



Gambar 5 Skema susunan cermin dan kamera

2.3.5 Pengukuran pH

Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter YK-2001PH. Sebelum melakukan pengukuran pH, pH meter dilakukan kalibrasi terlebih dahulu dengan menggunakan larutan buffer pH=10 dan pH=4. Untuk mengukur pH pada sampel ikan, 10 gram daging ikan dicampur dengan 100 gram akuades dan diaduk secara merata dengan menggunakan blender.

2.3.6 Ekstraksi Data Reflektansi

Sebelum nilai reflektansi spektral dapat diekstraksi, terlebih dahulu dilakukan beberapa tahapan koreksi atas citra yang terekam. Koreksi yang dilakukan ini ditujukan untuk meniadakan efek perbedaan data kecerahan yang diakibatkan oleh ketidakhomogenan atas intensitas spektral dari sumber cahaya, respons spasial dan spektral dari detektor kamera, serta karakteristik transmisi spektral dari sistem optik yang digunakan. Data tingkat kecerahan pada sampel yang akan dianalisa adalah data rata-rata nilai tingkat kecerahan lima titik pada ROI yang telah ditentukan. Pada setiap ROI ini, nilai kecerahan

pada masing-masing layer detektor kamera akan dijumlahkan, yang kemudian menghasilkan data $I(\lambda, x, y)$. Dengan variabel λ merupakan panjang gelombang, dan (x, y) adalah merupakan posisi spasial pada citra. Nilai reflektansi spektral $R(\lambda, x, y)$ dapat diperoleh dengan membandingkan nilai kecerahan hasil pengukuran pada benda uji dengan hasil pengukuran dengan menggunakan permukaan acuan.

3 Hasil dan Diskusi

3.1 Ekstraksi Data Reflektansi Relatif

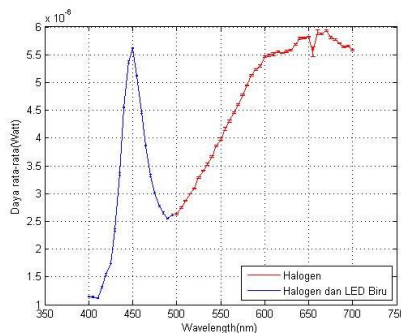
3.1.1 Pengujian Spektrum Sumber Cahaya

Sumber cahaya yang digunakan adalah sumber cahaya Halogen dan led biru. Led biru digunakan karena pada cahaya lampu halogen spektrum biru terlalu lemah sehingga perlu ditambahkan sumber cahaya lain yaitu led biru. Hasil pengujian spektrum lampu halogen dan led biru dapat dilihat pada Gambar 6.

Dari data spectrum yang diperoleh maka hasil dari citra yang diperoleh akan dilakukan koreksi pada menggunakan persamaan (1). Nilai daya yang berbeda-beda akan dikoreksi dengan nilai daya pada panjang gelombang 670 nm karena pada panjang gelombang tersebut memiliki daya yang paling besar.

$$E_{\lambda_{cor}}(\lambda) = \frac{E_{\lambda_{max}}}{E_{\lambda}(\lambda)} \tag{1}$$

dengan $E_{\lambda_{cor}}(\lambda)$ adalah nilai koreksi pada suatu panjang gelombang, $E_{\lambda_{max}}$ adalah nilai daya optis



Gambar 6 Spektrum sumber cahaya

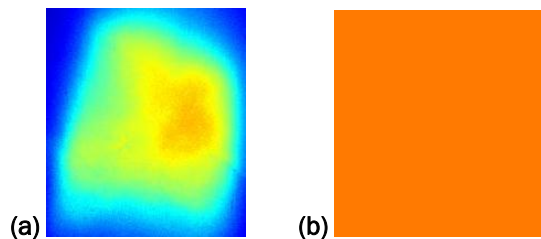
maksimum pada sistem, dan $E_{\lambda}(\lambda)$ adalah nilai daya optis sistem pada panjang gelombang pengukuran.

3.1.2 Profil Distribusi Berkas Cahaya

Distribusi berkas cahaya yang dihasilkan pada susunan pada Gambar 4 dan Gambar 5 terlihat kurang merata (Gambar 7(a)) sehingga perlu dilakukan koreksi berkas pada gambar yang diperoleh. Nilai koreksi diperoleh dari persamaan (2). Setelah mendapatkan nilai koreksi maka citra akan dikalikan dengan nilai koreksi yang diperoleh.

$$E_{scor}(x, y) = \frac{E_{s\ max}}{E_s(x, y)} \tag{2}$$

dengan $E_{scor}(x, y)$ adalah nilai koreksi pada posisi (x, y) , $E_{s\ max}$ adalah nilai daya optis maksimum yang terukur, dan $E_s(x, y)$ adalah nilai daya optis sistem pada lokasi (x, y) .

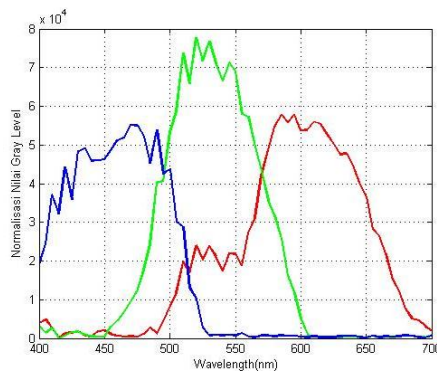


Gambar 7 Berkas cahaya

3.2 Pengujian Kamera

3.2.1 Pengujian Spektrum Sumber Cahaya

Kamera memiliki tiga sensor cahaya [28] dan setiap sensor tersebut memiliki respon yang berbeda - beda sebagai fungsi panjang gelombang. Nilai count pada setiap panjang pada sumber cahaya yang memiliki daya yang sama pada setiap panjang gelombangnya dapat menunjukkan sensitivitas pada sensor kamera pada setiap panjang gelombangnya.



Gambar 8 Respon spektrum kamera

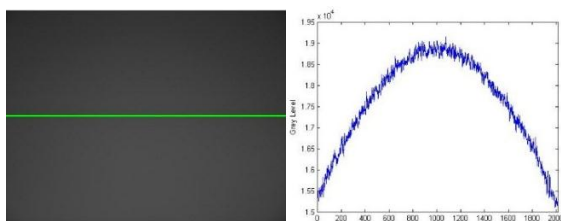
Dari data spectrum yang diperoleh maka hasil dari citra yang diperoleh akan dilakukan koreksi pada menggunakan persamaan (3).

$$C_{\lambda_{cor}}(\lambda) = \frac{C_{\lambda_{max}}}{C_{\lambda}(\lambda)} \tag{3}$$

dengan $C_{\lambda_{cor}}(\lambda)$ adalah nilai koreksi pada panjang gelombang, $C_{\lambda_{max}}$ adalah nilai tingkat kecerahan maksimum pada citra, dan $C_{\lambda}(\lambda)$ adalah nilai kecerahan pada panjang gelombang.

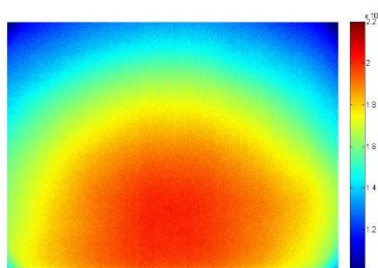
3.2.2 Respons Sensitivitas Spasial Kamera

Respon spasial pada sensor kamera dapat dilihat pada (Gambar 9). Respon tersebut diperoleh dari pengambilan citra dari sumber cahaya yang memiliki intensitas homogen pada setiap posisinya, yaitu dilakukan dengan memanfaatkan yaitu monitor LCD HP CQ1569x.



Gambar 9 Respon spasial kamera

Jika dilihat kembali pada permukaan dua dimensi pada citra (Gambar 10), nampak terjadi vignetting pada sistem kamera. Posisi tengah memiliki nilai sensitivitas yang paling tinggi dan semakin jauh dari posisi tengah maka nilai sensitivitas sensor semakin kecil. Koreksi atas kondisi ini dilakukan dengan menggunakan teknik yang serupa dengan yang digunakan untuk profil distribusi berkas cahaya (3.1.2).

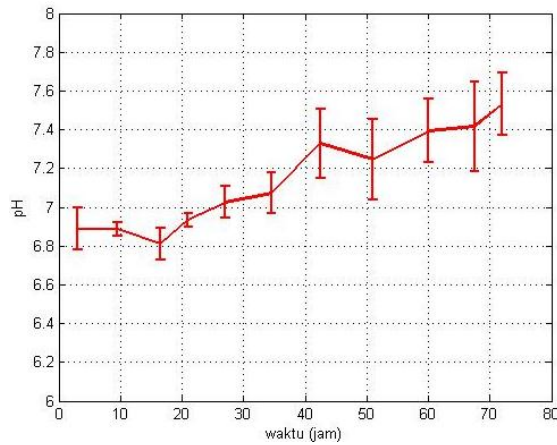


Gambar 10 Nilai Tingkat Kecerahan pada Setiap Posisi pada Sensor Kamera

3.2.3 Hasil Pengukuran pH

Data hasil pengukuran pH dapat dilihat pada Gambar 11 Pada kondisi segar yaitu pada waktu awal nilai pH daging ikan gurami adalah 6,9 kemudian nilai pH mengalami penurunan pada awal jam ke-16 Proses penurunan pH terjadi karena adanya produksi

asam laktat. Namun setelah itu mengalami peningkatan sampai jam ke-72 peningkatan ini dikarenakan adanya produksi basa-basa yang mudah menguap [21]. Hasil ini menunjukkan bahwa pada daging ikan gurami terjadi proses pembusukan.

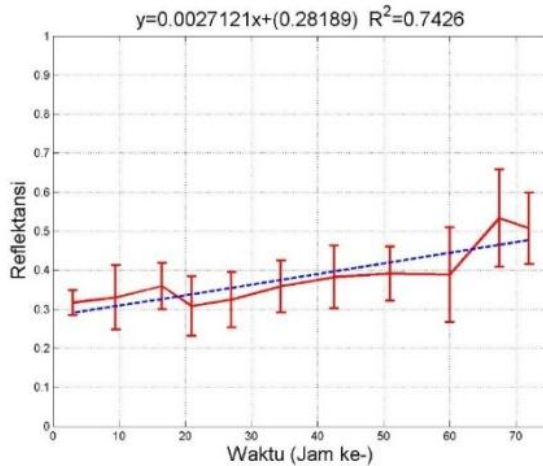


Gambar 11 Hasil pengukuran pH

3.2.4 Ekstrasi Data Reflektansi

Data tingkat kecerahan pada sampel yang akan dianalisa adalah nilai rata-rata dari tingkat kecerahan pada setiap layer pada ROI yang telah ditentukan. Kemudian data tingkat kecerahan pada masing-masing layer akan dijumlahkan. Pada panjang gelombang 400 nm dan 700 nm kamera memiliki sensitivitas yang sangat kecil dan cahaya yang dihasilkan juga sangat lemah citra yang dihasilkan pada panjang gelombang 400 nm dan 700 nm tidak dianalisa.

Secara umum, perubahan nilai reflektansi relatif terhadap waktu (menyatakan tingkat kesegaran ikan) dapat dilihat pada Gambar 12. Terlihat bahwa menurunnya tingkat kesegaran ikan maka akan berkorelasi dengan peningkatan nilai reflektansi relatif.



Gambar 12 Perubahan reflektansi terhadap waktu penyimpanan pada panjang gelombang 575 nm

Dari semua pita panjang gelombang yang digunakan, teramati bahwa korelasi terbaik antara perubahan nilai reflektansi terhadap waktu (penurunan tingkat kesegaran) terjadi pada tiga panjang gelombang, yaitu 550 nm, 575 nm, dan 600 nm, yang ditentukan berdasarkan nilai koefisien determinasi R² serta sensitivitas, sebagaimana diberikan pada Tabel-1 berikut:

Tabel 3 Korelasi terbaik antara perubahan nilai reflektansi terhadap waktu

λ (nm)	Sensitivitas (jam ⁻¹)	R ²
550 nm	0.0026	0.6693
575 nm	0.0027	0.7426
600 nm	0.0033	0.7334

Peningkatan reflektansi ini disebabkan adanya kandungan air yang meningkat [7] khususnya pada panjang gelombang cahaya tampak [29]. dari pengamatan atas perubahan nilai reflektansi spektral terhadap hasil percobaan yang dilakukan, diamati bahwa penggunaan panjang gelombang 600 nm menunjukkan hasil terbaik. Pada panjang gelombang ini, nilai sensitivitas tertinggi didapatkan, yaitu dengan nilai 0.0033 (R² = 0.7334). Panjang gelombang dalam rentang cahaya tampak ini dapat digunakan untuk mengamati proses penyebaran peningkatan kandungan air, yang dapat menunjukkan penurunan tingkat kesegaran pada ikan.

3.2.5 Korelasi Data Reflektansi dan pH

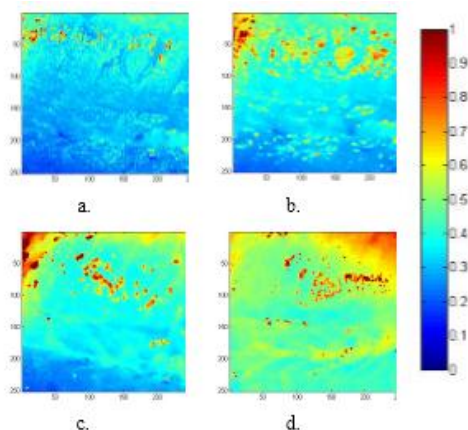
Dari data pH yang telah diperoleh dan data reflektansi pada ketiga panjang gelombang terbaik diatas, dapat dicari hubungan antara pH dan nilai reflektansi relatif, sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Korelasi antara perubahan nilai reflektansi terhadap pH

λ (nm)	Sensitivitas (jam ⁻¹)	R ²
550	0.2321	0.59115
575	0.2995	0.69491
600	0.242	0.67165

3.2.6 Pengamatan Proses Pembusukan

Perubahan nilai reflektansi relatif pada panjang gelombang 575 nm dapat ditampilkan dengan menggunakan citra pseudo coloring untuk pengamatan lebih jelas dari penurunan tingkat kesegaran pada ikan. Hal ini dapat dilihat dalam Gambar 13. Pada Gambar 13a dan Gambar 13b dapat dilihat bahwa pada 16 jam penyimpanan kandungan air mulai meningkat, hal ini dapat diamati pada bagian biru muda sampai bagian kuning. Pada kondisi 42 jam penyimpanan dan 72 jam penyimpanan air mulai meningkat di seluruh permukaan, dapat dilihat pada Gambar 13c dan 13d. Warna kuning yang mulai meningkat pada permukaan ikan gurami menunjukkan kandungan air yang mulai meningkat.



Gambar 13 Proses pembusukan, awal (a), 16 jam (b), 42 jam (c) dan 72 jam (d)

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil-hasil yang telah didapatkan dapat disimpulkan beberapa poin sebagai berikut:

1. Suatu rancangan sistem pencitra multispectral sederhana dapat dibangun untuk menentukan tingkat kesegaran produk perikanan dengan dengan memaksimalkan penggunaan sumberdaya penelitian yang tersedia. Dengan melakukan beberapa koreksi atas ketidak homogenan respons dari komponen-komponen penyusun sistem yang digunakan, sistem ini dapat digunakan untuk menentukan perubahan tingkat kesegaran produk perikanan, berbasis pada perubahan nilai reflektansi spektral.
2. Dari seluruh rentang panjang gelombang cahaya tampak yang digunakan, perubahan atas nilai reflektansi sebagai fungsi dari penurunan tingkat kesegaran pada ikan gurami dapat teramati dengan baik pada tiga panjang gelombang, yaitu 550 nm, 575 nm, dan 600 nm.

3. Diperlukan pengukuran kalibrasi intensitas dengan menggunakan bahan reflektans acuan untuk lebih meningkatkan akurasi penentuan tingkat kesegaran dengan menggunakan metoda ini.

5 Daftar Pustaka

- [1] D. P2HP, "Statistik Konsumsi Ikan," Direktorat Jendral Pengolahan dan Pemasaran Hasil Perikanan, 2015, url: statistik.kkp.go.id .
- [2] A. G. Maulana, "Udang Kembali Jadi Tren Konsumsi Dunia Global," 31 Agustus 2013. [Online]. Available: <http://bandung.bisnis.com/read/20130831/34229/423080/udang-kembali-jadi-tren-konsumsi-dunia-global>.
- [4] A. C. Goncalves, M. E. López-Caballero and M. L. Nunes, "Quality Changes of Deepwater Pink Shrimp (*Parapenaeus longirostris*) Packed in Modified Atmosphere," *Journal of Food Science*, vol. 68, no. 8, p. 2586–2590, 2003.
- [5] Y. O. Zogul, G. O. zyurt, F. O. zogul, E. Kuley and A. Polat, "Freshness assessment of European eel (*Anguilla anguilla*) by sensory, chemical and microbiological methods," *Food Chemistry*, vol. 92, pp. 745-751, 2005.
- [6] A. Dhaouadia, L. Monsera, S. Sadokb and N. Adhouma, "Validation of a flow-injection-gas diffusion method for total volatile basic nitrogen determination in seafood products," *Food Chemistry*, vol. 103, no. 3, p. 1049–1053, 2007.
- [7] B. Jinadasa, "Determination of Quality of Marine Fishes Based on Total Volatile Base Nitrogen test (TVB-N)," *Nature and Science*, vol. 5, no. 12, 2014.
- [8] E. Susanto, T. W. Agustini, F. Swastawati, T. Surti, A. S. Fahmi, M. F. Albar and M. K. Nafis, "Pemanfaatan Bahan Alami Untuk Memperpanjang Umur Simpan Ikan Kembung (*Rastrelliger Neglectus*)," *Jurnal Perikanan*, vol. XIII, no. 2, pp. 60-69, 2011.
- [9] Q. Z. Zeng., K. A. Thorarinsdottir and G. Olafsdottir, "Quality Changes of Shrimp (*Pandalus borealis*) Stored under Different Cooling Conditions," *Journal of Food Science*, vol. 70, no. 7, 2005.
- [10] S. Güney and A. Atasoy, "An Electronic Nose System for Assessing Horse Mackerel Freshness," in *Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*, 2012.
- [11] H. Nilsen, M. Esaiassen, K. Heia and F. Sigernes, "Visible/Near-Infrared Spectroscopy: A New Tool for the Evaluation of Fish Freshness," *Journal of Food Science*, vol. 67, no. 5, pp. 1821-1826, 2002.
- [12] Q. Dai, J. H. Cheng, D. Sun, H. Pu, X. A. Zeng and Z. Xiong, "Potential of visible/near-infrared hyperspectral imaging for rapid detection of freshness in unfrozen and frozen prawns," *Journal of Food Engineering*, vol. 149, pp. 97-104, 2015.
- [13] W. Huang, J. Li, Q. Wang and L. Chen, "Development of a multispectral imaging system for online Development of a multispectral imaging system for online," *Journal of Food Engineering*, vol. 146, p. 62–71, 2005.
- [14] C. Liu, W. Liu, W. Chen, J. Yang and L. Zheng, "Feasibility in multispectral imaging for predicting the content of bioactive compounds in intact tomato fruit," *Food Chemistry*, vol. 173, p. 482–488, 2015.
- [15] P. Talens, L. Mora, v. Morsy, D. F. Barbin, G. ElMasry and D.-W. Sun, "Prediction

- of water and protein contents and quality classification of Spanish cooked ham using NIR hyperspectral imaging," *Journal of Food Engineering*, vol. 117, p. 272-280, 2013.
- [16] E. Z. Panagou, O. Papadopoulou, J. M. Carstensen and G.-J. E. Nychas, "Potential of multispectral imaging technology for rapid and non-destructive determination of the microbiological quality of beef filets during aerobic storage," *International Journal of Food Microbiology*, vol. 174, pp. 1-11, 2014.
- [17] F. Ma, Jing Yao, Tingting Xie, C. Liu, W. Chen, C. Chen and L. Zheng, "Multispectral imaging for rapid and non-destructive determination of aerobic plate count (APC) in cooked pork sausages," *Food Research International*, vol. 62, p. 902-908, 2014.
- [18] I. Sone, R. L. Olsen, A. H. Sivertsen, G. Eilertsen and K. Heia, "Classification of fresh Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fillets stored under different atmospheres by hyperspectral imaging," *Journal of Food Engineering*, no. 109, pp. 482-489, 2012.
- [19] K. Abbas, A. Mohamed, B. Jamilah and M. Ebrahimian, "A review on correlations between fish freshness and pH during cold storage," *American journal of biochemistry and biotechnology*, vol. 4, no. 4, pp. 416-421, 2008.
- [20] Z. Qingzhu, "Quality Indicators of Northern Shrimp (*Pandalus borealis*) Stored under Different Cooling Conditions," UNU-Fisheries Training Programme, Tokyo, Japan, 2003.
- [21] B. S. N., Standar Nasional Indonesia 01-2346-2006: Uji Organoleptik Ikan Segar, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- [22] Nurjanah, T. Nurhayati and R. Zakariya, "Kemuduran Mutu Ikan Gurami (*Osteochromis gouramy*) Pasca Kematian Pada Penyimpanan Suhu Chilling," *AKUATIK-Jurnal Sumberdaya Perairan*, vol. 5, no. 2, pp. 11-18, 2011.
- [23] C. Riquixo, Evaluation of suitable chemical methods for seafood products in Mozambique, Reykjavik, Iceland, Final Project Report, United Nation University - Fisheries Training program (UNU-FTP), Icelandic Fisheries Laboratories, 1998.
- [24] D. Malin, "Multispectral Imaging," in *Focal Encyclopedia of Photography Fourth*, Burlington, Elsevier, 2007, p. 575.
- [25] J. Kleim, "Multispectral Thecnology," 2014, url: <http://www.lfb.rwth-aachen.de>
- [26] P.-J. Lapray, X. Wang, J.-B. Thomas and P. Gouton, "Multispectral Filter Arrays: Recent Advances and Practical Implementation," *Sensors*, no. 14, pp. 21626-21659, 2014.
- [27] Pixelteq, "Interchangeable Optical Filters Enable High Speed Multispectral Imaging Camera," 2011, url: <http://halmapr.com/>
- [28] Imaco, "JAI AD - Fusion series 2-CCD cameras," 2011, url: <http://http://www.imaco.pl/>.
- [29] A. Narendran, "A Study of CMOS Cameras," Student Report for course ELEC 663.
- [30] D. Wu, H. Shi, S. Wang, Y. He and Y. Bao, "Rapid prediction of moisture content of dehydrated prawns using online hyperspectral imaging system," *Analytica Chimica Acta*, no. 726, pp. 57-66, 2012.