



SmartAgro-Spectral: Teknik Pengukuran Kandungan Nitrit Pada Sarang Burung Walet Berbasis Spektal Menggunakan Metode Regresi Linier

Rida Hudaya¹, Hepi Ludyati², Feni Isdaryani³, Muhamad Rafhi Rihadatus Syawal⁴, Julian Harith Al Banny Hudaya⁵

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

⁵eFarming Corpora

¹rida_hudaya@polban.ac.id, ²hepi.ludyati@polban.ac.id, ³feni.isdaryani@polban.ac.id,

⁴muhamad.rafhi.tele21@polban.ac.id, ⁵julian.hudaya@gmail.com

Abstract

Indonesia is the largest exporter of edible bird's nest (EBN) to China, involving many EBN farmers from various regions in Indonesia. Therefore, a portable device is needed to rapidly and accurately measure the required quality of SBW to avoid rejection by Chinese buyers, which could result in significant losses. Consequently, for this purpose, an electronic instrument has been developed. smartAgro-Spectral is a microcontroller-based electronic instrument that measures nitrite content in edible bird's nest (EBN) using linear regression method in machine learning calculations. This instrument can measure nitrite content based on the intensity of colors produced by EBN products. The coloring process is carried out by mixing EBW powder with Sulphanilamide solution and N-(1-naphthyl) Ethylenediamine Dihydrochloride (NED) solution. The concentration of EBN solution is normalized to values between 0.2 ppm and 0.7 ppm. The measurement process is carried out by emitting 18 waves of the light spectrum. The intensity of the 18 wavelengths of the measured light spectrum was selected based on the strong correlation between the intensity of the light spectrum and the value of nitrite content in the EBN product. The measurement results show that the intensity of the light spectrum that has a strong linear correlation is at wavelengths of 460 nm, 485 nm, 510 nm, 535 nm, and 610 nm. So, smartAgro-Spectral electronic instruments can be realized based on the intensity relationship of each wavelength through multiple linear regression analysis, and are able to linearly measure nitrite content in EBW products with a precision level of 99.85% and an accuracy rate of 99.85%.

Keywords: Nitrite, NED, EBN, light spectrum, linear regression

Abstrak

Indonesia adalah eksportir sarang burung walet (SBW) terbesar ke China yang melibatkan banyak petani SBW diberbagai wilayah Indonesia. Oleh karena itu diperlukan suatu perangkat portable yang dapat mengukur kualitas SBW yang dipersyaratkan secara cepat dan tepat untuk menghindari penolakan penerimaan dari pihak China yang dapat menimbulkan kerugian yang sangat besar. Oleh karena itu, untuk tujuan tersebut dibuatlah sebuah instrument elektronik. smartAgro-Spectral adalah instrumen elektronik berbasis mikrokontroler yang mengukur kandungan nitrit dalam sarang burung walet (SBW) dengan menggunakan metode regresi linier dalam perhitungan *machine learning*. Alat ini dapat mengukur kandungan nitrit berdasarkan intensitas warna yang dihasilkan oleh produk SBW. Proses pewarnaan dilakukan dengan mencampurkan bubuk SBW dan larutan Sulphanilamide serta larutan N-(1-naphthyl) Ethylenediamine Dihydrochloride (NED). Konsentrasi larutan SBW yang dinormalisasi ke nilai antara 0,2 ppm dan 0,7 ppm. Proses pengukuran dilakukan dengan memancarkan 18 gelombang spektrum cahaya. Intensitas 18 panjang gelombang spektrum cahaya yang diukur dipilih berdasarkan korelasi kuat antara intensitas spektrum cahaya dan nilai kandungan nitrit dalam produk SBW. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa intensitas spektrum cahaya yang memiliki korelasi linier kuat berada pada panjang gelombang 460 nm, 485 nm, 510 nm, 535 nm, dan 610 nm. Sehingga, instrumen elektronik smartAgro-Spektal dapat direalisasikan berdasarkan hubungan intensitas masing-masing panjang gelombang melalui analisis regresi linier berganda, serta mampu mengukur secara linier kandungan nitrit pada produk SBW dengan tingkat presisi 99,85% dan tingkat akurasi 99,85%.

Kata kunci: Nitrit, NED, SBW, spektrum cahaya, regresi linier

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan eksportir produk SBW terbesar di dunia ke China. Jadi, sektor ini melibatkan banyak

petani SBW di berbagai wilayah Indonesia dengan kualitas produk yang sangat beragam. Gambar 1 menunjukkan beberapa contoh kualitas produk SBW setelah dipanen. Berdasarkan posisi Indonesia sebagai



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

produsen produk SBW terbesar di dunia dan berdasarkan data IQFAST dari Badan Karantina Pertanian tahun 2020, jumlah ekspor SBW Indonesia sebesar 1.250 ton dengan nilai hampir Rp25 triliun. Ada 28 negara tujuan ekspor SBW Indonesia dan negara tujuan ekspor terbesar adalah Hong Kong dan China. Negara tujuan utama produk SBW menerapkan berbagai persyaratan kualitas yang ketat, antara lain kandungan nitrit, ukuran dan bentuk, tingkat kebersihan, identitas asal panen, dan kualitas warna. Batas maksimum kandungan nitrit dalam SBW merupakan persyaratan penting. Nitrit di sarang burung adalah senyawa yang terbentuk dari kotoran di kandang atau di SBW itu sendiri. Nitrit yang berlebihan pada bahan makanan dapat menjadi racun dan berbahaya karena dapat menyebabkan *methemoglobinemia*, sehingga mengakibatkan gangguan aliran oksigen dan kesulitan bernapas [1], sedangkan pada bayi dapat menyebabkan sindrom bayi biru [2]. Oleh karena itu, pemerintah China dan negara tujuan ekspor lainnya sangat memperhatikan kandungan nitrit yang terdapat di SBW.

Oleh karena itu, berdasarkan latar belakang di atas, dilakukan penelitian untuk mengembangkan alat instrumentasi elektronika yang dapat dengan cepat dan mudah mendeteksi dan mengukur kadar nitrit yang terkandung dalam produk SBW yang dapat dimasukkan dalam proses inspeksi pada lini produksi pengolahan SBW [3][4].

Warna merupakan atribut penting yang dapat digunakan sebagai indikator kualitas pangan dan juga berkaitan erat dengan penerimaan konsumen [5][6]. Nitrit adalah senyawa anorganik yang secara alami ada di lingkungan, seperti air dan tanah. Nitrit umumnya digunakan dalam industri makanan sebagai pengawet makanan untuk mencegah pembusukan dan untuk mempertahankan warna daging dan produk daging seperti bacon, ham, makan siang, daging kornet, hamburger, dan ikan asap [7]. Namun, ada kekhawatiran tentang hubungan kandungan nitrit dengan kanker. Nitrit dapat berbahaya bagi kesehatan manusia ketika bereaksi dengan amina sekunder dan amida dalam saluran pencernaan untuk membentuk N-nitrosamin karsinogenik, yang dapat menyebabkan kanker lambung [8]. Sebuah laporan dari Komite Ahli Bersama FAO / WHO tentang Bahan Tambahan Makanan (JECFA) pada tahun 2002 menyarankan bahwa asupan nitrit harian yang dapat diterima untuk manusia tidak boleh melebihi 0,07 mg/kg berat badan. Air dan banyak sayuran, seperti bayam, terong, selada, lobak, dan bit, adalah sumber utama nitrat dalam makanan karena mereka adalah konstituen alami tanaman [7]. Asupan nitrat yang tinggi dapat berbahaya bagi kesehatan karena nitrat merupakan sumber potensial nitrit yang berkerja mengurangi bakteri atau mikroba. Nitrit lebih beracun daripada nitrat karena nitrit berinteraksi dengan pigmen darah untuk menghasilkan *methemoglobinemia*, yang menyebabkan kelainan darah dan kesulitan bernapas pada manusia [7][8].

SBW dari gua berwarna lebih gelap dan merah memiliki kandungan nitrit yang lebih tinggi dibandingkan dengan SBW dari rumah yang lebih terang dan lebih kuning. Ini bisa menyiratkan bahwa kandungan nitrit terkait dengan warna SBW. Studi korelasi menunjukkan bahwa kandungan nitrit sangat berkorelasi dengan parameter warna. Temuan ini menunjukkan bahwa warna SBW dapat digunakan untuk mengukur kontaminasi nitrit [9].



Sumber: hargaburung.id, itpc-busan.kr, www.goodnewsfromindonesia.id, lifepal.co.id, fjb.kaskus.co.id, alimustikasari.com, www.bukalapak.com

Gambar 1. Contoh berbagai produk SBW berkualitas yang dipanen.

Telah terjadi peningkatan kesadaran masyarakat akan tingginya kadar nitrit di SBW setelah kejadian bahwa produk SBW dilarang selama ekspor. Kontaminasi nitrit pada SBW disebabkan oleh proses fermentasi tanah burung dan *guano* serta sumber daya alam lingkungan seperti udara, air, dan tanah. Tingkat nitrit dalam SBW harus dikontrol secara ketat untuk memastikan keamanannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kandungan nitrit SBW yang diperoleh dari rumah dan gua. SBW rumah tangga adalah sarang kegiatan pemeliharaan burung di mana burung walet tertarik untuk membangun sarang mereka dalam struktur yang meniru gua dalam struktur buatan manusia menggunakan suara burung walet yang direkam. SBW gua berasal dari aktivitas alami burung walet yang bersarang. Warna SBW juga diukur untuk mengevaluasi korelasi dengan kandungan nitrit.

SBW dibentuk oleh tujuh spesies *Aerodramus* dan *Collocalia (Apodidae)*, menggunakan sekresi kelenjar ludah dicampur dengan bulu atau rumput selama berkembang biak. Nilai gizinya yang kaya untuk aktivitas anti-penuaan, imunomodulator, dan antioksidan telah membuatnya sangat dicari oleh konsumen. Ini juga menimbulkan pemalsuan, yang mengarah pada masalah keamanan pangan. Sehingga menuntut kajian SBW secara mendalam dalam semua aspek, seperti komposisi, aktivitas biologis, identifikasi keasliannya, pengendalian mutu, ketertelusuran, klasifikasi, situasi industri, komposisi gizi, tindakan farmakologis, identifikasi, pemeriksaan, dan penentuan kandungan [6][10]. Pembahasan tersebut merupakan arah prospek penelitian ke depan dari SBW.

Beberapa kajian teknis terkait kualitas produk SBW telah dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, salah satunya adalah penggunaan teknik *image processing* dan *data mining*, atau lebih khusus lagi,

penggunaan *machine learning* [11]. Studi tentang pengembangan penggunaan sistem cerdas untuk identifikasi dan kuantifikasi SBW dapat dibangun menggunakan *colorimetric sensor array* (CSA), *smartphone*, dan model jaringan berlapis-lapis. CSA digunakan untuk mengumpulkan karakter bau, dan tanggapan sinyal CSA ditangkap oleh sistem *smartphone*. Analisis komponen utama (PCA) dan *hierarchical cluster analysis* (HCA) digunakan untuk menyelidiki SBW asli dan palsu. Model jaringan berlapis-lapis dibangun untuk menganalisis pemalsuan SBW. Dalam model ini, perbedaan antara SBW asli dan palsu diwujudkan menggunakan algoritma *Back-propagation neural networks* (BPNN). Kemudian, model lain berbasis BPNN dikembangkan untuk mengidentifikasi jenis-jenis polutan pada SBW campuran. Akhirnya, model prediksi persentase palsu untuk setiap jenis SBW palsu dibuat menggunakan metode *partial least square* (PLS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat pengenalan SBW asli dan palsu adalah 90% [12].

Studi lain adalah penggunaan sensor warna untuk mendeteksi kualitas produk menggunakan dua metode. Pertama, penggunaan kamera pengolah video dan mikrokontroler. Kedua, penggunaan sumber cahaya dan LDR, atau fototransistor, Sensor warna sederhana diperoleh dengan menggunakan sumber cahaya putih dan tiga LDR yang dilapisi dengan film warna merah, hijau, dan biru [3]. Pemilihan mutu juga dapat diwujudkan dengan metode *Weighted Product* (WP) untuk mempertimbangkan kriteria dan bobot mutu SBW. Metode ini menggunakan persamaan untuk menghubungkan atribut dan hanya menghasilkan nilai terbesar yang akan dipilih sebagai alternatif terbaik untuk menghasilkan hasil pemerinkatan dengan tingkat akurasi 100% [13]. Teknik penyortiran dan gradasi dapat dilakukan dengan menggunakan teknik pengolahan gambar secara otomatis berdasarkan fitur ukuran dan warna. Teknik ini memberikan keuntungan karena tidak merusak produk yang diteliti dan memiliki tingkat akurasi yang tinggi, kecepatan tinggi, dan biaya rendah [14]. Parameter mutu juga dapat ditentukan melalui hubungan sifat fisikokimia dengan nilai variabel indeks hijau (G) dan variabel intensitas (I). Sedangkan variabel *Red-Blue* (RB) dan *hue saturation* (HS) tidak memberikan perbedaan yang signifikan [15]. Teknik pengolahan citra seperti *image thresholding*, *operating morphology*, *lump detection*, dan *color analysis* telah digunakan dalam proses *grading* daun tembakau dan dapat mengklasifikasikannya dengan sangat baik [16]. Penggunaan *automatic color sensor and sorting machine* (ACSSM) dalam otomatisasi pengukuran dan pemisahan produk berdasarkan warna. Sistem yang diterapkan didasarkan pada deteksi warna, deteksi objek, dan eksekusi untuk mencapai penyortiran [17].

Penambahan data dalam pembelajaran mesin memainkan peran besar dalam hal data eksperimen dan

perhitungan kompleks untuk interpretasi [18][19]. Penggabungan *machine learning* dalam pengembangan pengetahuan masa depan melalui interpretasi data otomatis dengan bantuan berbagai model seperti klasifikasi, regresi, pengelompokan, dan lainnya [20][21]. Ada juga strategi untuk menerapkan fitur-fitur baru seperti (1) portabilitas level berganda dari tingkat sistem ke tingkat aplikasi, (2) pengembangan dan perluasan perangkat lunak yang fleksibel dan dinamis, dan (3) penyebaran terukur yang kompatibel [22]. Realisasi sistem berbasis mikrokontroler dapat diterapkan untuk memilah produk berdasarkan warna. Penyortiran dapat dilakukan dengan banyak cara sesuai dimensi, warna, dan berat menggunakan *machine vision* (*image processing*) [23]. Pelaksanaan uji terapan merupakan proses evaluasi penerapan alat uji di lapangan yang akan dilakukan oleh petugas pemeriksa. Desain dan pengembangan perangkat elektronik portabel harus memiliki jumlah minimum sensor dan komponen periferal. Semua akuisisi, pemrosesan, penyimpanan, dan tampilan sinyal dilakukan oleh sistem elektronik tertanam, sehingga menghindari penggunaan komputer dan periferal eksternal [24][25].

Beberapa pertimbangan terkait penerapan alat ukur yang hemat biaya, kemudahan proses pengujian yang diterapkan, dan pertimbangan keakuratan hasil pengukuran, serta portabilitas perangkat keras alat ukur, telah dikembangkan melalui teknik preparasi sederhana dan penggunaan beberapa berkas cahaya yang panjang gelombangnya telah ditentukan. Pengukuran kualitas produk SBW diperoleh dengan mengukur intensitas spektrum tertentu, yang dianalisis menggunakan metode regresi linier berganda. Penggunaan sistem warna telah dikembangkan untuk mendapatkan kestabilan hasil pengukuran kandungan nitrit pada sarang burung walet [26]. Penelitian ini adalah dasar dari metode dan teknik yang dikembangkan dalam artikel ini.

2. Metode Penelitian

Pembahasan dalam artikel ini merupakan pengembangan dari salah satu hasil penelitian sebelumnya di bidang gelombang spektrum cahaya dengan menggunakan sensor spektral (Hudaya et al., 2021). Desain struktur perangkat keras yang ditunjukkan pada Gambar 2 terdiri dari (1) Sensor VIS yang dilengkapi dengan koneksi Bluetooth, (2) Aplikasi Perangkat Seluler yang dilengkapi dengan koneksi Wi-Fi, (3) Cloud Server, dan (4) Mikrokontroler yang dilengkapi dengan koneksi Bluetooth. Pembahasan pada artikel ini akan menjelaskan pemilihan panjang gelombang spektrum cahaya pada sensor spektral. Pilihan yang tepat akan membuat proses pembuatan perangkat instrumen presisi menjadi sederhana dan murah.

Dalam perancangan struktur hardware, VIS Sensor berfungsi untuk membaca 18 saluran intensitas gelombang cahaya pada panjang gelombang 410 nm,

435 nm, 460 nm, 485 nm, 510 nm, 535 nm, 560 nm, 585 nm, 610 nm, 645 nm, 680 nm, 705 nm, 730 nm, 760 nm, 810 nm, 860 nm, 900 nm, dan 910 nm. Data intensitas cahaya yang dibaca dikirim ke perangkat seluler dan mikrokontroler. Data yang dikirim ke perangkat seluler kemudian diteruskan ke cloud untuk diproses dan analisis data, dan kemudian proses keputusan untuk menentukan nilai tingkat konsentrasi nitrit dilakukan. Proses pengolahan dan analisis data yang sama serta keputusan untuk menentukan nilai konsentrasi nitrit juga dilakukan pada data yang dikirim ke mikrokontroler. Keputusan untuk menentukan nilai konsentrasi nitrit kemudian dikirim ke perangkat seluler dan ditampilkan di layar perangkat.

Langkah-langkah percobaan uji dilakukan dengan cara sebagai berikut: (1) Langkah pertama percobaan adalah menyiapkan produk sarang burung walet dengan cara penyerbukan dan pewarnaan menggunakan larutan sulphanilamide dan larutan N- (1-naphthyl) ethylenediamine dihydrochloride (NED); (2) Langkah kedua adalah mengukur intensitas masing-masing dari 18 saluran gelombang cahaya dengan menyinari produk sarang burung walet menggunakan cahaya putih. Pengukuran dilakukan pada beberapa kadar kandungan nitrit yang diketahui mengandung kadar nitrit 0,2 ppm, 0,3 ppm, 0,4 ppm, 0,5 ppm, 0,6 ppm, dan 0,7 ppm. Pengukuran diulang 10 kali untuk setiap konsentrasi; (3) Langkah selanjutnya adalah pengolahan data. Data pengukuran diolah untuk memilih data yang memiliki hubungan linier terkuat dengan konsentrasi nitrit yang terkandung dalam sarang burung walet; (4) Proses pengolahan data dilanjutkan melalui analisis statistik regresi linier berganda. Sehingga diperoleh model persamaan linear yang menghubungkan intensitas gelombang cahaya dengan kandungan nitrit yang terdapat pada sarang burung walet; (5) Uji model dilanjutkan pada kandungan kadar nitrit yang tidak diketahui antara nilai 0,2 ppm dan 0,7 ppm.

Sensor vis berfungsi untuk menangkap karakteristik spektrum cahaya produk SBW. Data yang diambil kemudian dikirim ke perangkat seluler untuk dikirim ke server cloud. Di server cloud, data diproses, dimanipulasi, diselesaikan, dan divisualisasikan. Namun, proses tersebut juga dapat dilakukan secara lokal oleh mikrokontroler lokal untuk mempercepat keputusan atas hasil pengukuran, yang merupakan alasan tidak tersedianya jaringan internet.

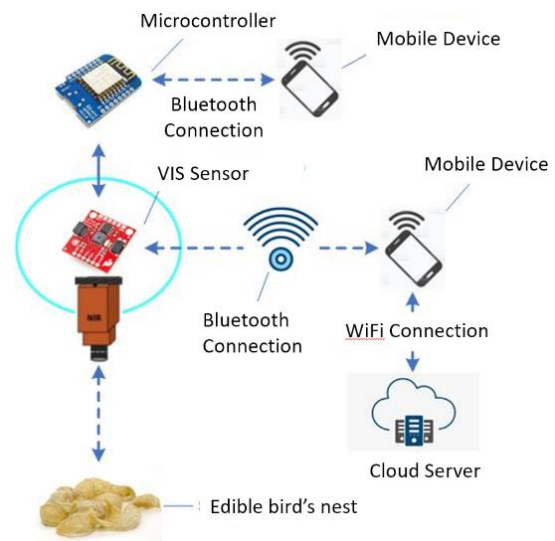
3. Hasil dan Pembahasan

Intensitas cahaya dari pengukuran semua panjang gelombang yang diuji terhadap larutan standar ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 3. Secara umum, tanggapan berbagai panjang gelombang menunjukkan bentuk yang hampir serupa. Melalui uji korelasi Pearson dan seleksi outlier, serta analisis regresi linier berganda, kami memperoleh 5 panjang gelombang yang memenuhi kriteria tersebut, yaitu 460 nm, 485 nm, 510 nm, 535 nm,

dan 610 nm. Hasil regresi linier berganda untuk 5 panjang gelombang ditunjukkan pada Tabel 2, dan intensitas tanggapan ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan koefisien dan *intercept* pada Tabel 3, persamaan linear berganda diperoleh sebagai berikut,

$$N_m = -2.45e - 05 * w_1 - 1.73e - 03 * w_2 - 8.15e - 05 * w_3 + 7.99e - 04 * w_4 - 7.31e - 04 * w_5 + 2.64 \quad (1)$$

Dengan N_m adalah hasil dari nilai nitrit yang diukur oleh sensor spectra, dan w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 adalah hasil dari nilai intensitas warna yang diukur oleh masing-masing sensor spektral pada saluran-1, saluran-2, saluran-3, saluran-4, dan saluran-5.

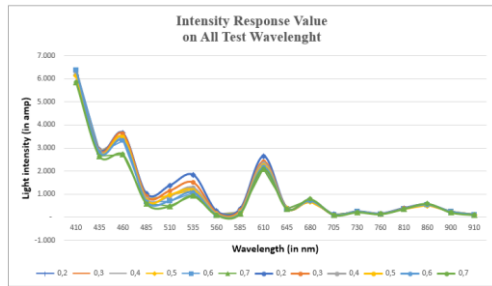


Gambar 1. Rancangan struktur perangkat keras *Instrument*.

Berdasarkan model yang dikembangkan dari Tabel 1, yang dinyatakan seperti pada Persamaan (1), pengujian presisi dan akurasi instrumen pengukuran isi nitrit ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil pengukuran menunjukkan presisi rata-rata 99,85% dan akurasi rata-rata 99,85%. Tes untuk konsentrasi nitrit yang tidak diketahui dilakukan pada beberapa konsentrasi nitrit berbeda yang terkandung dalam sarang burung walet. Grafik hasil pengukuran pada Gambar 5 menunjukkan tingkat akurasi dan presisi serta linearitas yang sama seperti yang telah diuji pada hasil yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 1. Intensitas tanggapan sensor terhadap berbagai panjang gelombang spektrum cahaya.

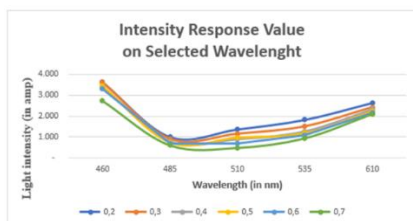
PPM _{terukur}	460	485	510	535	610
0,2	3.652	1.019	1.377	1.835	2.645
0,3	3.623	914	1.153	1.507	2.425
0,4	3.422	805	914	1.282	2.332
0,5	3.472	740	965	1.180	2.233
0,6	3.327	678	702	1.079	2.166
0,7	2.725	605	483	940	2.094
PEARSON	-0,86	-0,99	-0,97	-0,97	-0,97



Gambar 3. Grafik tanggapan intensitas pada semua panjang gelombang uji.

Tabel 2. Uji kepresisian dan akurasi instrumen.

Nitrit Acuan (ppm)	Rerata Nitrit Ukur (ppm)	Rerata Kesalahan	Rerata % Kesalahan	% Presisi	% Akurasi
0,2	2,00E-01	6,50E-04	0,33%	99,68%	99,67%
0,3	3,00E-01	5,50E-04	0,18%	99,82%	99,82%
0,4	4,00E-01	4,33E-04	0,11%	99,89%	99,89%
0,5	5,00E-01	6,33E-04	0,13%	99,87%	99,87%
0,6	6,00E-01	5,17E-04	0,09%	99,91%	99,91%
0,7	7,00E-01	3,33E-04	0,05%	99,95%	99,95%
Rerata	4,50E-01	5,19E-04	0,15%	99,85%	99,85%
Deviasi standar	1,87E-01				
Deviasi %	0,12%				
Avg. of Precision	99,85%				
Avg. of Accuracy	99,85%				

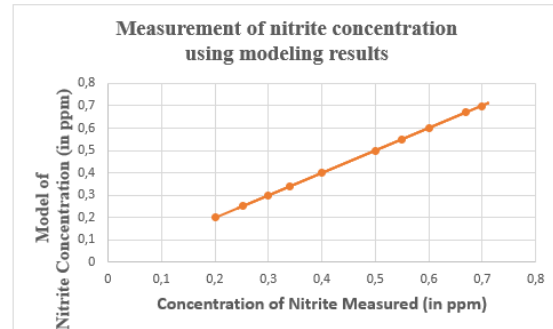


Gambar 4. Grafik tanggapan intensitas pada panjang gelombang yang dipilih.

Tabel 3. Analisis regresi linier berganda tanggapan sensor.

SUMMARY OUTPUT			
Regression Statistics			
Multiple R	1		
R Square	1		
Adjusted R Square	65535		
Observations	6		
ANOVA			
	df	SS	MS

Regression	14	0.175	0.0125		
Residual	0	0	65535		
Total	14	0.175			
	Coefficients	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	2.64E+00	2.64E+00	2.64E+00	2.64E+00	2.64E+00
460 nm	-2.45E-05	-2.45E-05	-2.45E-05	-2.45E-05	-2.45E-05
485 nm	-1.73E-03	-1.73E-03	-1.73E-03	-1.73E-03	-1.73E-03
510 nm	-8.15E-05	-8.15E-05	-8.15E-05	-8.15E-05	-8.15E-05
535 nm	7.99E-04	7.99E-04	7.99E-04	7.99E-04	7.99E-04
610 nm	-7.31E-04	-7.31E-04	-7.31E-04	-7.31E-04	-7.31E-04



Gambar 5. Grafik pengujian untuk konsentrasi nitrit yang tidak diketahui.

4. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan penerapan gelombang spektrum cahaya, diperoleh lima spektrum dengan panjang gelombang 460 nm, 485 nm, 510 nm, 535 dan 610 nm. Spektrum hasil pengujian menunjukkan intensitas panjang gelombang berbanding lurus dengan konsentrasi nitrit yang terkandung dalam produk SBW. Instrumen ini memiliki tingkat presisi dan akurasi yang tinggi, keduanya diperoleh sebesar 99,85%. Sehingga instrumen smartAgro-Spectral menjadi lebih mudah direalisasikan sebagai instrumen presisi dan hemat biaya untuk memantau kandungan nitrit dalam produk SBW dengan menggunakan pendekatan spektral.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih disampaikan kepada Tim Peneliti BUTTMKP dari Badan Karantina Kementerian Pertanian Indonesia, yang telah bekerja sama untuk melakukan penelitian tentang sensor untuk kandungan nitrit dalam SBW. Terima kasih juga disampaikan kepada Politeknik Negeri Bandung atas segala dukungannya untuk kegiatan pengembangan laboratorium melalui Kontrak Nomor B/94.37/PL1.R7/PG.00.03/2023.

Daftar Rujukan

- [1] A. Madan, D. Replinger, J. Lebin, J. Lewis, R. Vohra, and C. Smollin, "Severe Methemoglobinemia and Death From Intentional Sodium Nitrite Ingestions," *J. Emerg. Med.*, vol. 59, no. 3, pp. e85–e88, 2020, doi: 10.1016/j.jemermed.2020.06.031.
- [2] Ö. Özdestandan and A. Üren, "Nitrate and Nitrite Contents of Baby Foods," *Akad. Gıda*, vol. 10, no. 4, pp. 11–18, 2012, [Online]. Available: <http://www.academicfoodjournal.com>.

- [3] K. Zengin, C. Atilgan, and E. Çağlarer, "Cost-effective colour sensor construction," *Majlesi J. Electr. Eng.*, vol. 12, no. 2, pp. 69–71, 2018.
- [4] S. Kabeer, P. Veeramani, S. Lakshmanan, and S. S. Nandhini, "Quality Detection of Beverage Using Sensor," vol. 4, no. 8, pp. 123–127, 2021.
- [5] Lawless HT and Heymann H., *Sensory evaluation of food: principles and practices*, Vol. 2. Newyork: Springer US, 2010.
- [6] N. H. Jamalluddin, N. A. Tukiran, N. Ahmad Fadzillah, and S. Fathi, "Overview of edible bird's nests and their contemporary issues," *Food Control*, vol. 104, no. May, pp. 247–255, 2019, doi: 10.1016/j.foodcont.2019.04.042.
- [7] G. K. Chan, K. Y. Zhu, D. J. Chou, A. J. Guo, T. T. Dong, and K. W. Tsim, "Surveillance of nitrite level in cubilose: evaluation of removal method and proposed origin of contamination," *Food Control*, vol. 34, no. 2, pp. 637–644, 2013.
- [8] Wolff IA and Wasserman AE, "Nitrates, nitrites, and nitrosamines," *Science (80-.)*, vol. 177, no. 4043, pp. 15–9, 1972.
- [9] Z. C. F. Wong, G. K. L. Chan, T. T. X. Dong, and K. W. K. Tsim, "Origin of Red Color in Edible Bird's Nests Directed by the Binding of Fe Ions to Acidic Mammalian Chitinase-like Protein," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 66, no. 22, pp. 5644–5653, 2018, doi: 10.1021/acs.jafc.8b01500.
- [10] E. K. S. Shim, G. F. Chandra, and S. Y. Lee, "Thermal analysis methods for the rapid identification and authentication of swiftlet (*Aerodramus fuciphagus*) edible bird's nest – A mucin glycoprotein," *Food Res. Int.*, vol. 95, pp. 9–18, 2017, doi: 10.1016/j.foodres.2017.02.018.
- [11] H. Min, W. Jia, X. F. Wang, Y. Zhao, and Y. T. Luo, "A polynomial piecewise constant approximation method based on dual constraint relaxation for segmenting images with intensity inhomogeneity," *Pattern Recognit.*, vol. 73, pp. 15–32, 2018, doi: 10.1016/j.patcog.2017.07.002.
- [12] X. Huang et al., "A low cost smart system to analyze different types of edible Bird's nest adulteration based on colorimetric sensor array," *J. Food Drug Anal.*, vol. 27, no. 4, pp. 876–886, 2019, doi: 10.1016/j.jfda.2019.06.004.
- [13] S. Defit, G. W. Nurcahyo, P. Studi, and M. Ilmu, "Decision Support System in Identification of Swallow 's Nest Quality with Weighted Product Method," vol. 3, no. 1, pp. 181–192, 2021.
- [14] C. D. Sachi Agrawal, Sakshi Jha, "Grading of Tomatoes Using Digital Image Processing on the Basis of Size," *Int. J. Res. Eng. Technol.*, vol. 05, no. 10, pp. 109–111, 2016, doi: 10.15623/ijret.2016.0510020.
- [15] Y. Dai, J. Cao, Y. Wang, Y. Chen, and L. Jiang, "A comprehensive review of edible bird's nest," *Food Res. Int.*, vol. 140, no. November, p. 109875, 2021, doi: 10.1016/j.foodres.2020.109875.
- [16] A. Harjoko, A. Prahara, T. W. Supardi, I. Candradewi, R. Pulungan, and S. Hartati, "Image processing approach for grading tobacco leaf based on color and quality," *Int. J. Smart Sens. Intell. Syst.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–10, 2019, doi: 10.21307/ijssis-2019-010.
- [17] G. Seiphepi, A. M. Zungeru, J. Gaboitaolelwe, C. Lebekwe, and B. Mtengi, "Automatic bell pepper colour detector and sorting machine," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 13, no. 11, pp. 3156–3166, 2020, doi: 10.37624/ijert/13.11.2020.3156-3166.
- [18] Y. Hendrawan et al., "Deep Learning to Detect and Classify the Purity Level of Luwak Coffee Green Beans," *Pertanika J. Sci. Technol.*, vol. 30, no. 1, pp. 1–18, 2022, doi: 10.47836/pjst.30.1.01.
- [19] N. J. Watson et al., "Intelligent Sensors for Sustainable Food and Drink Manufacturing," *Front. Sustain. Food Syst.*, vol. 5, 2021, doi: 10.3389/fsufs.2021.642786.
- [20] N. S. Ayush Pratap, "Machine learning-based image processing in materials science and engineering: A review," 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.200>.
- [21] Y. H. Yeo and K. S. Yen, "Impurities Detection in Intensity Inhomogeneous Edible Bird's Nest (EBN) Using a U-Net Deep Learning Model," *Int. J. Eng. Technol. Innov.*, vol. 11, no. 2, pp. 135–145, 2021, doi: 10.46604/IJETI.2021.6891.
- [22] Y. Huo et al., "Towards Portable Large-Scale Image Processing with High-Performance Computing," *J. Digit. Imaging*, vol. 31, no. 3, pp. 304–314, 2018, doi: 10.1007/s10278-018-0080-0.
- [23] K. Molane, M. Kharade, S. Bhavsar, S. Rathod, and S. Mishra, "Microcontroller Based Product Sorting by Using Colour Sensor," *Int. J. Progress. Res. Sci. Eng.*, vol. 1, no. 6, pp. 69–73, 2020, [Online]. Available: <https://www.journals.grdpublications.com/index.php/ijprse/article/view/183>.
- [24] Á. G. Estévez-Pedraza, R. Martínez-Méndez, O. Portillo-Rodríguez, J. Rodríguez-Arce, and L. Parra-Rodríguez, "Portable electronic device to assess the human balance using a minimum number of sensors," *Biomed. Phys. Eng. Express*, vol. 6, no. 1, 2020, doi: 10.1088/2057-1976/ab6858.
- [25] J. E. Gan and W. K. Lai, "Automated Grading of Edible Birds Nest Using Hybrid Bat Algorithm Clustering Based on K-Means," 2019 IEEE Int. Conf. Autom. Control Intell. Syst. I2CACIS 2019 - Proc., no. June, pp. 73–78, 2019, doi: 10.1109/I2CACIS.2019.8825077.
- [26] R. Hudaya et al., "Development of Spectral Sensors for Nitrite Content in Edible Bird's Nest," *Proc. 2nd Int. Semin. Sci. Appl. Technol. (ISSAT 2021)*, vol. 207, no. Issat, pp. 88–92, 2021, doi: 10.2991/aer.k.211106.015.